

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie**

**Návrh vstřikovací formy pro polymerní materiály**

**Design of Injection Mold for Polymeric Materials**

Student:

Bc. Martin Rosí

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Bc. Martin Rosí**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Návrh vstřikovací formy pro polymerní materiály**  
**Design of Injection Mold for Polymeric Materials**  
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza současného stavu.
3. Návrh a konstrukce vstřikovací formy.
4. Výroba vstřikovací formy a její ověření v praxi.
5. Závěr.

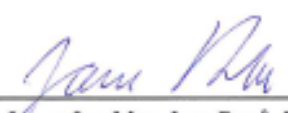
Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J.; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.  
[2] BUMBÁLEK, B.; ODVODY, V.; OŠTÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: SNTL, 1989, 340 s. ISBN 04-252-89.  
[3] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.  
[4] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.  
[5] ČSN EN ISO 4288:1997 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – struktura povrchu: Profilová metoda – pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016  
Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrá, Ph.D.  
vedoucí katedry

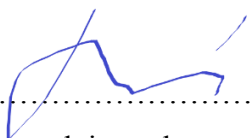
  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ...15.5.2017.....

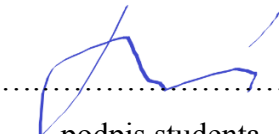


.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....15.5.0217.....



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martin Rosí

Adresa trvalého bydliště autora: Bouzov 2, 783 25 Bouzov

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ROŠÍ, Martin. *Návrh vstřikovací formy pro polymerní materiály: bakalářská práce* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, [65] s., vedoucí práce: Ing. Zlámal Tomáš Ph.D.

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku návrhu a výroby vstřikovací formy pro polymerní materiály. Forma byla navržena pro plastový dílec, který je součástí předního světlometu osobního automobilu nejmenovaného výrobce. Práce je složena z teoretické části, která obsahuje základní rozdělení polymerů, teorii vstřikování a popis vstřikovacího cyklu, dále rozbor jednotlivých částí vstřikovacích forem, popis jejich funkce a možnosti konstrukčního řešení, ale také souhrn stávajících technologií výroby těchto forem. V praktické části je řešen návrh konstrukce vstřikovací formy pro plastový dílec, návrh výroby vybraných tvarových částí formy, simulace a vlastní obrábění.

**Klíčová slova:** Vstřikovací forma, polymer, vstřikování, vysokorychlostní obrábění, elektroerozivní obrábění.

## ANOTATION OF BACHELOR'S THESIS

ROŠÍ, Martin. *Design of Injection Mold for Polymeric Materials: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2017, [65] s., Thesis head: M.Sc. Zlámal Tomáš Ph.D.

The Bachelor's thesis is focused on problematic of design and manufacture of the injection mold. The injection mold was design for a plastic part, which is part of a headlight from an unnamed car producer. The thesis consist of theoretical part, where dividing of polymers, theory of injection, description of injection cycle is described, analysis of individual parts of injection molds, function and possibilities of design solutions and summary of current technology of manufacturing of these molds are described. In practical part of the thesis is solved proposal of design of injection mold for plastic part, proposal of manufacture of selected shaped parts of the mold, simulation and tooling itself.

**Keywords:** Injection mold, polymer, injection molding, high speed machining, electric discharge machining.

**OBSAH:**

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	8
ÚVOD.....	10
<b>1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1 TERMOPLASTY.....	11
1.2 REAKTOPLASTY.....	12
1.3 ELASTOMERY.....	12
1.4 ZPRACOVATELSKÉ PODMÍNKY TERMOPLASTŮ PRO PROCES VSTŘIKOVÁNÍ.....	12
<b>2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS .....	13
2.1.1 <i>Strojní doby během cyklu</i> .....	14
2.1.2 <i>Doba vstřikování</i> .....	14
2.2 VSTŘIKOVACÍ STROJ .....	15
2.2.1 <i>Vstřikovací jednotka</i> .....	16
2.2.2 <i>Uzavírací jednotka</i> .....	18
2.3 VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	18
2.3.1 <i>Násobnost vstřikovací formy</i> .....	20
2.3.2 <i>Temperační systém forem</i> .....	20
2.3.3 <i>Vtokový systém forem</i> .....	21
2.3.4 <i>Odvzdušnění vstřikovacích forem</i> .....	23
2.3.5 <i>Materiály pro výrobu vstřikovacích forem</i> .....	24
<b>3 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO REFLEKTOR .....</b>	<b>26</b>
3.1 NÁVRH A KONSTRUKCE VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	26
3.1.1 <i>Použitý software</i> .....	26
3.1.2 <i>Materiál výstřiku</i> .....	27
3.1.3 <i>Řešení vtokového systému</i> .....	28
3.1.4 <i>Vyhazovací systém vstřikovací formy</i> .....	28
3.1.5 <i>Temperační systém vstřikovací formy</i> .....	29
3.1.6 <i>Parametry vstřikovací formy</i> .....	31
3.2 VOLBA VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	32
3.3 CAE ANALÝZA V PROGRAMU AUTODESK MOLDFLOW .....	33
3.3.1 <i>Čas plnění</i> .....	34
3.3.2 <i>Teplota na čele taveniny</i> .....	35
3.3.3 <i>Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)</i> .....	36
<b>4 VÝROBA TVAROVÝCH ČÁSTÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY.....</b>	<b>37</b>
4.1 TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ.....	37
4.2 VYSOKORYCHLOSTNÍ OBRÁBĚNÍ - HSC .....	38
4.3 FRÉZOVÁNÍ DUTIN VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	39
4.3.1 <i>Hrubování</i> .....	39
4.3.2 <i>Dokončovací proces obrábění</i> .....	40
4.4 ELEKTROJISKROVÉ (ELEKTROEROZIVNÍ) OBRÁBĚNÍ (EDM).....	41
4.4.1 <i>Elektrojiskrové hloubení</i> .....	41
4.4.2 <i>Elektrojiskrové řezání</i> .....	45
4.5 FINÁLNÍ ÚPRAVY POVRCHŮ VSTŘIKOVACÍ FORMY (LEŠTĚNÍ) .....	45
4.5.1 <i>Mechanické leštění</i> .....	45

4.5.2	<i>Chemické leštění</i> .....	46
4.5.3	<i>Elektrochemické leštění</i> .....	46
4.6	POUŽITÉ STROJNÍ VYBAVENÍ PRO VÝROBU NAVRŽENÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY.....	48
4.7	POUŽITÉ FRÉZOVACÍ NÁSTROJE .....	52
4.7.1	<i>Nástroje pro hrubovací operace</i> .....	52
4.7.2	<i>Nástroje pro dokončovací operace</i> .....	53
4.8	OVĚŘENÍ PROCESU OBRÁBĚNÍ.....	54
4.9	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	54
ZÁVĚR.....		56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....		57
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....		61
SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK .....		62
SEZNAM PŘÍLOH.....		63
PŘÍLOHA A: SEŘIZOVACÍ KARTA PRO VSTŘIKOVÁNÍ DÍLU REFLEKTOR.....		63
PŘÍLOHA B: TECHNOLOGICKÝ POSTUP NÁSTROJÁRNY .....		64

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/symbol	Popis	Jednotka
CAD	Computer Aided Design	[-]
CAM	Computer Aided Manufacturing	[-]
CNC	Computer Numerical Controlled	[-]
D <sub>c</sub>	Průměr frézy	[mm]
DLC	Diamond Like Carbon	[-]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
EDM	Electric Discharge Machining	[-]
F <sub>p</sub>	Přisouvací síla	[kN]
F <sub>u</sub>	Uzavírací síla	[kN]
HRC	Tvrdost podle Rockwella	[HRC]
HSC	Hight Speed Cutting	[-]
NC	Numerical Controlled	[-]
PC – HT	Polykarbonát modifikovaný	[-]
R <sub>a</sub>	Jakost obrobeného povrchu	[μm]
T <sub>g</sub>	Teplota skelného přechodu	[°C]
T <sub>tav</sub>	Teplota taveniny	[°C]
UV	Ultraviolet	[-]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
W <sub>o</sub>	Modul pružnosti v ohybu	[MPa]
a <sub>cu</sub>	Rázová houževnatost dle Charpyho	[kJ.m <sup>-2</sup> ]
d	Průměr vyměnitelné břitové destičky	[mm]



$d_a$	Délka obráběcího centra	[mm]
$k_s$	Kus	[ks]
$p$	Tlak	[MPa]
$r$	Poloměr zaoblení	[mm]
$\bar{s}$	Šířka obráběcího centra	[mm]
$t_{s1}$	Strojní čas 1.	[s]
$t_{s2}$	Strojní čas 2.	[s]
$t_{s3}$	Strojní čas 3.	[s]
$v$	Výška obráběcího centra	[mm]
$v_o$	Obvodová rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon$	Poměrná deformace materiálu	[%]
$\sigma$	Napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_o$	Napětí v ohybu	[MPa]

## ÚVOD

Polymery jsou v dnešní době pro průmyslovou výrobu velice důležité a nezbytné. Stále častěji se setkáváme s nahrazováním původních dřevěných nebo kovových materiálů materiály plastovými. Tyto materiály se začaly uplatňovat v mnoha oblastech, především v automobilovém průmyslu, elektrotechnice, ale i v řadě dalších průmyslových odvětví. Velký důraz je kladen zejména na přesnost a kvalitu povrchu plastových výrobků. S tím souvisí technologie výroby vstřikovacích forem.

Mezi hlavní důvody pro použití polymerních materiálů patří dobré fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti. Plasty jsou v porovnání s kovy lehčí, mají nižší tepelnou vodivost, nižší elektrickou vodivost, dobrou chemickou odolnost, ale vyšší tepelnou roztažnost. Z plastů je možné vyrábět velmi tvarově složité díly, které by jiným způsobem vyrobít nešlo. Zpracování plastů se provádí mnoha způsoby. Nejrozšířenějším z nich je vstřikování.

Proces vstřikování spočívá v zaplnění dutiny formy, která má tvar budoucího výrobku, polymerní taveninou v plastickém stavu. Polymer v dutině formy ztuhne a pomocí vyhazovacího systému je z formy vyhozen výstřik. Výroba vstřikovacích forem je tedy důležitým faktorem ovlivňujícím nejen kvalitu výrobku, ale především jeho cenu. Proto musí být správně konstrukčně řešeny s ohledem na hledisko ekonomičnosti výroby.

Jelikož se strojírenství neustále vyvíjí a zdokonaluje, začaly vznikat také speciální softwary, kdy lze s jejich využitím mnohem rychleji navrhovat nejen části, ale i celé formy ve 3D. Tyto softwary také umožňují vytvoření programů pro obrábění jednotlivých částí forem a lze jimi provádět různé simulace a zamezit tak případné kolizi v důsledku chybné konstrukce ještě před tím, než se vůbec forma začne vyrábět. Toto vše značně zkracuje celkový čas výroby a snižuje náklady.

# 1 POLYMERY A JEJICH ROZDĚLENÍ

Plastem se označuje takový materiál, jehož struktura je tvořena makromolekulárními řetězci (oproti kovům, jejichž struktura je vytvořena krystalickou mřížkou). [1]

Polymery se dělí na tři základní druhy:

- termoplasty,
- reaktoplasty,
- elastomery.

Vlivem nadměrného ohřevu dochází u typů polymerů k přetrhání chemických vazeb, tím se materiál rozruší a ztratí pevnost. Jedná se o degradaci hmoty materiálu, je to nevratný děj, po němž je další zpracovávání materiálu zbytečné. [1]

## 1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou polymery, které mají řetězce přímé (lineární polymery) nebo řetězce s bočními větvemi (rozvětvené polymery). Při ohřevu se uvolní soudržnost řetězců a hmota je viskózní. V tomto stavu se může tvářet. Po ochlazení se dostanou opět do původního pevného stavu. [1]

Tyto polymery, lineární či rozvětvené, u kterých tvoří řetězce vždy jen jeden druh základní chemické skupiny, se nazývají homopolymery. Pokud jsou řetězce složeny z více než jednoho druhu základních chemických skupin, mluvíme o kopolymerech.

Termoplasty se mohou dále dělit podle vnitřní struktury: [1]

- amorfní, mají prostorově nepravidelně uspořádané řetězce,
- semikrystalické, jenž mají podstatnou část struktury pravidelně uspořádanou do krystalické struktury, a uspořádání zbytku struktury je amorfní.

Využitelnost výrobků z amorfních plastů je v oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). Polymer je v tomto stavu pevný. Zvyšováním teploty nad  $T_g$  postupně slábnou kohezní síly mezi makromolekulami a plast přechází do plastické oblasti až do viskózního stavu, kdy se zpracovává. Se zvyšováním teploty současně narůstá i objem polymeru. [1]

Výrobky z amorfních polymerů se dají využít v oblasti pod teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ). Pod teplotou skelného přechodu jsou termoplasty pevné, avšak se zvyšováním teploty nad  $T_g$  začínají slábnout kohezní síly mezi makromolekulami. Tím

se materiál dostává do stavu plastického až viskózního, ve kterém dochází k jeho zpracování. S narůstající teplotou narůstá také objem polymeru. [1]

Semikrystalické polymery mají části makromolekul vázány pevněji v lamelách či ve sférolitech krystalické fáze. Při zvýšení teploty se jako první uvolní makromolekuly z amorfní fáze, poté makromolekuly z fáze krystalické. Tento proces doprovází značný objemový nárůst. Použití semikrystalických polymerů je vhodný nad teplotou  $T_g$ , protože nad touto teplotou mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti. [1]

## 1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou to polymerní materiály, jenž mají po zpracování řetězce příčně propojeny pomocí chemických vazeb, které vytváří prostorovou trojrozměrnou síť. Při ohřevu dochází ke zvětšení pohyblivosti této sítě, ale nedojde k úplnému uvolnění. Tvářením vlivem tlaku a teploty dochází k zesíťování (vytvrzování) plastu. [1]

## 1.3 Elastomery

Elastomery jsou materiály, které mají původní řetězce velmi ohebné s přiměřenou hustotou sítě. Za normální teploty jsou tedy poddajné a pružné. K jejich zesíťování dochází během vulkanizace, elastomery se při ní převedou na pryž. Po dokončení chemického procesu není možné tyto materiály dále tvářet. [1]

## 1.4 Zpracovatelské podmínky termoplastů pro proces vstřikování

Na vlastnosti hotového výstřiku mají značný vliv technologické podmínky. Zpracovatelské parametry jako je teplota, tlak, čas, jsou určujícím parametrem pro rozměry, mechanické a fyzikální vlastnosti a v neposlední řadě na izotropii. [1]

Ve vtokových kanálech a tvarových dutinách při vstřikování dojde k orientaci makromolekul, jejichž řetězce jsou srovnány ve směru proudění polymerní taveniny. Tato orientace je po ztuhnutí příčinou anizotropie, nepravidelného smrštění a vnitřního pnutí. [1]

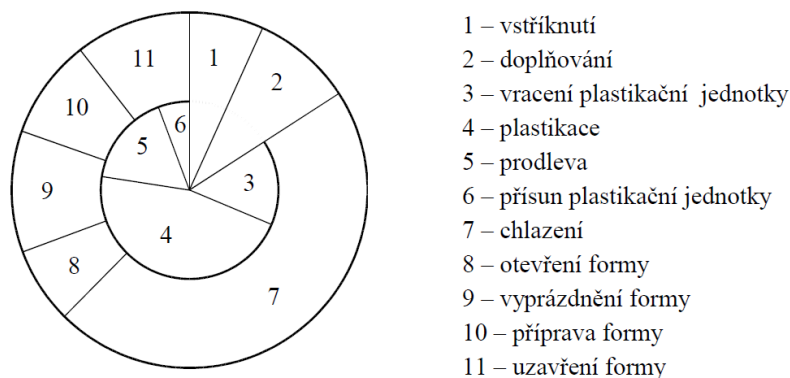
## 2 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Tento způsob zpracování polymerních materiálů je nejrozšířenějším typem výroby plastových dílů. Na celém procesu (fyzikálně poměrně složitém) se podílejí polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj, na kterém je forma upnuta. Během procesu vstřikování je polymerní materiál v plastickém stavu dopravován pod tlakem do dutiny formy, kde dochází k jeho tuhnutí. Poté je z formy vyhozen. [1]

Jedním z nejdůležitějších aspektů pro výrobu kvalitních dílců je typ použitého polymerního materiálu. Použitý materiál musí být doplněn o vhodně zvolené procesní podmínky a správný technologický postup, jenž je potřeba během celého výrobního procesu respektovat. [1]

### 2.1 Vstřikovací cyklus

Násobností formy se ovlivní množství výstřiků zhotovených na jeden cyklus, který může mít vliv na zvýšení produktivity s využitím této technologie. Důležitá je také optimální délka celého cyklu, zobrazeného na obrázku 2.1, která závisí na technologických parametrech stroje a teplotě. Konstrukce výstřiku může také ovlivnit délku cyklu, především tloušťka jeho stěn. [1, 37]



Obr. 2.1 Časový průběh vstřikovacího cyklu [37]

Poté co je forma uzavřena dojde ke vstříknutí taveniny požadované teploty určitou rychlostí a s nastaveným tlakem do dutiny formy. Tavenina je vystavena působení tlaku tak dlouho, než se začne ochlazovat. Následuje fáze dotlaku trvající do částečného ochlazení polymerní taveniny ve formě. Po ukončení dotlakové fáze se vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje odsune a začne v ní plastikace další hmoty pro následný cyklus. Při

ochlazení výstřiku na nastavenou vyhazovací teplotu se forma otevře a výstřik se vyhodí. Další fází cyklu je čištění a příprava formy pro následující cyklus. [1]

### 2.1.1 Strojní doby během cyklu

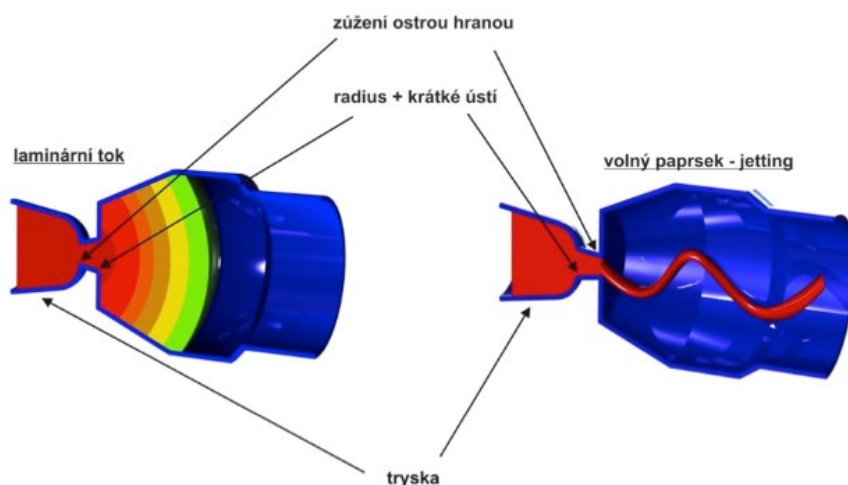
Strojní doby formy pro uzavření  $t_{s1}$ , doba pro přísun tavicí komory k formě  $t_{s2}$  a pro otevření formy  $t_{s3}$  jsou závislé na dráze, kterou musí forma při své funkci vykonat při dané rychlosti. Dráha otevření formy závisí na velikosti výstřiku (jeho rozměrech, tvaru) ve směru odformování a musí být alespoň tak velká, aby bylo umožněno odformování výstřiku bez jeho poškození, popřípadě aby mezi jednotlivými stranami formy vznikl prostor pro pohyb manipulátoru či robota. Všeobecnou snahou při konstrukci formy je zkrácení těchto časů na minimum a tím zvýšení produkce.

Tohoto se dosahuje např. navýšením rychlosti pohybu formy. U moderních vstřikovacích strojů používaných v dnešní době je rychlost formy při počátku uzavírání rozdílná od rychlosti dosedání dělicí roviny. Jde zejména o to, aby na sebe obě strany formy bez problému hladce dosedly a nedošlo tak vlivem nárazu k mechanickému poškození dělicí roviny. Stejně tak je tomu při otevírání formy. Pohyblivá strana formy se pohybuje vysokou rychlostí a před dosažením dorazové polohy se její rychlost sníží. Odformování výstřiku tak bude pomalejší a plynulejší. Výsledná doba strojních časů  $t_{s1}$ ,  $t_{s2}$ ,  $t_{s3}$  se u strojů středních velikostí pohybuje v řádu několika sekund. Vedle těchto strojních časů je však potřeba brát zřetel na časy temperace. [2]

### 2.1.2 Doba vstřikování

Dobu potřebnou pro zaplnění dutiny formy polymerní taveninou označujeme  $T_v$ . Tato doba závisí na rychlosti pohybu šneku vpřed, jenž je ovlivněna technologickými podmínkami – zejména teplotou taveniny  $T_{lav}$  a vstřikovacím tlakem  $p$ . Neopomenutelnými parametry jsou také teplota formy, velikost, tvar a objem výstřiku, vtoková soustava a typ vstřikovaného polymeru. Pro správně nastavené podmínky vstřikovacího procesu je nutné si uvědomit, že určité hodnotě vstřikovací rychlosti odpovídá určitá hodnota vstřikovacího tlaku. Nelze tedy nastavit příliš vysokou rychlost pro nízké tlaky. Programování průběhu rychlosti vstřikování je možné u složitých výrobků a u výrobků, které mají vysoký požadavek na povrchovou kvalitu. Při vysoké rychlosti vstřikování získáváme příznivou orientaci makromolekul, ovšem hrozí zde přehřátí materiálu a jeho degradace. Doba vstřikování je pro různá dle objemu součástí, násobnosti formy atd. Pohybuje se v řádu desetin sekundy až po několik sekund. Měla by však být co nejkratší. Čelo taveniny při styku

s chladnější stěnou formy ztrácí svojí tekutost a tuhne. Je tedy možné, že nestihne dotéci do všech míst dutiny – vznikne nedotečený výrobek. Proces vstřikování se má řídit tak, aby polymerní tavenina netekla ve vytvořených kanálech volným tokem, ale aby dutinu zaplňovala postupně. Při takovémto postupném plnění dochází ke složitému mechanismu tuhnutí vrstev taveniny. Tento tok se nazývá laminární. Jelikož je teplota stěn formy zhruba 3x až 4x chladnější než pohybující se tavenina, vytvoří tavenina na stěně formy okamžitě nepohyblivou vrstvu, která slouží také jako tepelná izolace. [2]



Obr. 2.2 Princip procesu plnění volným tokem (vlevo) a laminárním tokem (vpravo) [7]

## 2.2 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj je jedním z hlavních činitelů výroby. Jeho uspořádání může být různé a různě zvolené dle aplikace jeho použití. Od vstřikovacího stroje je vyžadována vysoká kvalita svých parametrů a zároveň dokonalé řízení, které vedou k výrobě jakostních výstřiků. V současnosti se můžeme setkat s různými konstrukčními variantami strojů, lišících se od sebe provedením, stupněm řízení, stálostí a reprodukovatelností jednotlivých parametrů, rychlostí výroby, typem obsluhy, počtem vstřikovacích jednotek a dalšími parametry.

Konstrukce stroje je charakterizována podle: [1]

- vstřikovací jednotky,
- uzavírací jednotky,
- ovládání a řízení stroje.

Kvalita stroje je dána jeho stupněm řízení a snadnou obsluhou. Pro zachování kvality je zapotřebí stálá reprodukovatelnost technologických parametrů. Při kolísání těchto parametrů dochází ke zhoršení kvality výroby, ke zhoršování přesnosti výroby. [1]



*Obr. 2.3 Vstřikovací stroj Krauss Maffei řady CX [8]*

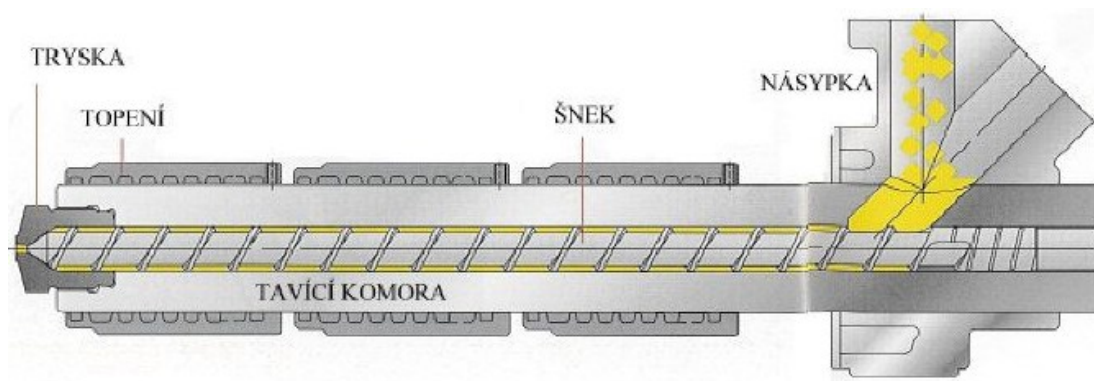
### 2.2.1 Vstřikovací jednotka

Hlavní dva úkoly vstřikovací jednotky jsou: přeměna granulátu polymerního materiálu na homogenní taveninu o dané viskozitě, vstříknutí taveniny do dutiny formy velkou rychlostí a velkým tlakem. [2]

Mezi první vstřikovací jednotky, které byly využívány ke vstřikování na konci minulého století, byly pístové jednotky. Svůj princip převzaly z lití roztavených kovů pod tlakem. Tyto jednotky se ve výrobě vstřikování udržely zhruba do poloviny 20. století, kdy byly postupně vytlačeny a nahrazeny jednotkami šnekovými. V současnosti se s nimi dá setkat zcela výjimečně, jejich význam je tedy zanedbatelný. V dalším odstavci bude popsán princip šnekových jednotek. Rozdílnost těchto dvou typů vstřikovacích jednotek je zejména v konstrukci tavicí komory.

Hlavním úkolem tavicí komory, která je součástí stroje, je převedení polymerní směsi, nejčastěji ve formě granulátu, do plastického stavu. Tato plastikace by měla trvat co nejkratší dobu pro co největší množství materiálu s dosažením co nejvyšší teplotní homogenity taveniny. Pohyb taveniny je u strojů pístových zajištěn pohybem pístu, u šnekových je to pohybem šneku. Šnekové vstřikovací stroje svou konstrukcí úspěšně vyřešily všechny nedostatky vstřikovacích strojů pístových. [2]





Obr. 2.4 Šneková vstřikovací jednotka [9]

Mezi největší přednosti šnekových strojů patří: [2]

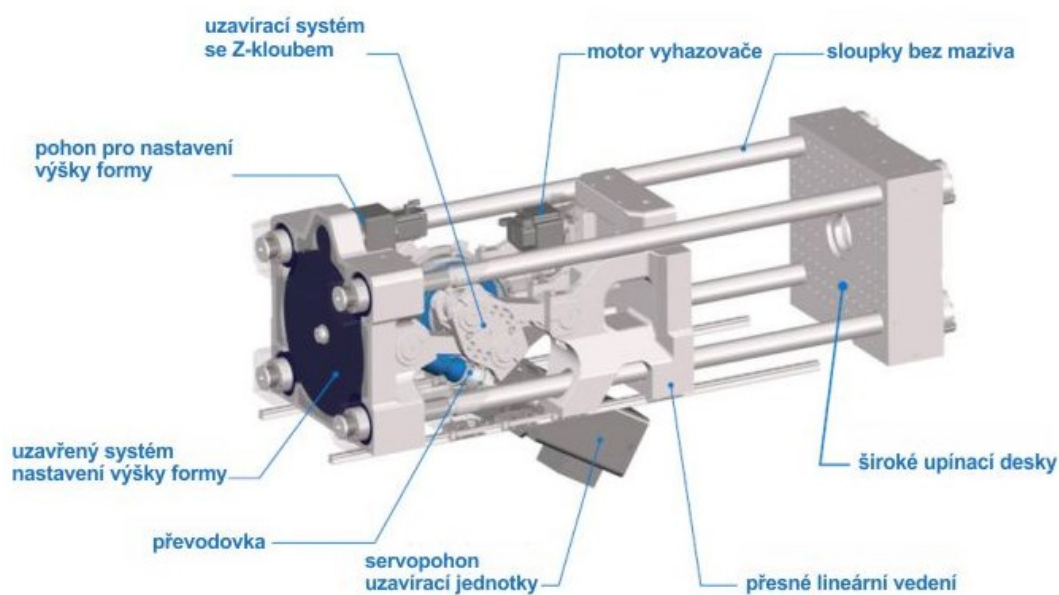
- dobrá a spolehlivá plastikace taveniny,
- dobrá homogenizace taveniny,
- materiál se v tavicí komoře nepřehřívá,
- umožnění zvyšování velikosti výstřiku, vysoký plastikační výkon, velký zdvihový objem,
- snadnější čištění komory po výměně materiálu,
- přesnější dávkování,
- malé tlakové ztráty,
- snadnější řízení dotlaku a tím lepší možnost zásahu do procesu vstřikování.

Šnekový vstřikovací stroj pracuje na následujícím principu: při plastikaci se šnek otáčí, ve vstupní oblasti nabírá polymer ve formě granulátu, ten je stlačován a dopravován do části tavicí komory vybavené vytápěním. V této oblasti materiál taje a ve formě taveniny je dopravován před otáčející se šnek, jenž zároveň koná pohyb vratný. Po plastikaci nastaveného množství se šnek přestane otáčet a začne se pohybovat dopředu jako píst. Tímto pohybem je tavenina vstříknuta do dutiny formy. Plastikace další dávky probíhá při současném chlazení výstřiku v dutině formy, což umožňuje zkrátit dobu cyklu oproti strojům pístovým. Další výhodou šnekových vstřikovacích strojů je jednoduché dávkování granulátu i taveniny, možnost dodatečného obarvení hmoty či přidání plniv a jiných látek až při zpracování. [2]

### 2.2.2 Uzavírací jednotka

Hlavním a nejdůležitějším úkolem uzavírací jednotky je zavírání a otevírání formy dle nastavení procesu vstřikování a zajištění takové síly, která je nutná pro správné uzavření formy tak, aby nedošlo vlivem vstřikovacího tlaku k jejímu otevření. Při činnosti formy se musí rozlišovat síla přísouvací  $F_p$  a uzavírací síla  $F_u$ . Stroje používané v současnosti mají pohodlně programovatelnou rychlost a sílu uzavírání formy. [2]

Uzavírací jednotka je tvořena těmito hlavními částmi: opěrnou deskou, spojenou pevně s ložem stroje, pohyblivou deskou, která slouží k upnutí pohyblivé části formy, upínací desky s otvorem pro trysku vstřikovacího stroje, která je určena pro upnutí pevné části vstřikovací formy, vedením pohyblivé desky, uzavíracími a přidržovacími mechanismy. Uzavírací systémy používané v dnešní době jsou různé. Patří zde systémy hydraulické, mechanické, jejich kombinace. V poslední době jsou také využívány elektrické uzavírací systémy. [2]



Obr. 2.5 Schéma hydraulické uzavírací jednotky [10]

## 2.3 Vstřikovací formy

Vstřikovací forma je nástroj a je vedle plastikační jednotky nejdůležitější část stroje. Není ovšem jeho pevnou součástí, jedná se o výměnné zařízení. Na jednom stroji se může používat více forem podobného typu, velikosti a hmotnosti. Dává tavenině plastu výsledný tvar výrobku a zachovává jej až do ztuhnutí. Forma jako celek se skládá z mnoha součástí, které lze rozdělit zpravidla na tvářecí části, vtokový, temperanční a vyhazovací systém,

vodící a upínací elementy. Ty části, které zabezpečující správnou funkci nástroje se nazývají konstrukčními. Částem stýkající se s roztaveným plastem říkáme funkční.

Velké množství vstřikovacích forem se dnes sestavuje z dílů, které jsou u většiny forem podobné nebo stejné. Proto se některé firmy začaly specializovat výhradně na výrobu těchto normalizovaných součástí. To, že se většina forem skládá stavebnicovým způsobem, značně zkracuje časy potřebné k výrobě jedné vstřikovací formy. V současné době existuje celá řada typů forem, která se dá rozdělit podle několika základních hledisek. [3, 4]

- podle počtu dutin na:
  - jednonásobné,
  - vícenásobné.
- podle typu vstřikovacího stroje:
  - se vstřikováním do osy,
  - se vstřikováním do dělicí roviny.
- podle uspořádání vtoku na:
  - dvoudeskové,
  - třideskové,
  - s horkým vtokem.
- podle konstrukce na:
  - jednoduché,
  - čelist'ové,
  - s výsuvnými jádry,
  - vyšroubovací,
  - etážové.
- podle vstřikovaného materiálu:
  - pro termoplasty,
  - pro reaktoplasty,
  - pro elastomery.

### 2.3.1 Násobnost vstřikovací formy

Násobností vstřikovací formy se rozumí, kolik bude mít forma tvarových dutin. Při volbě násobnosti se musí brát zřetel na složitost a velikost tvarové dutiny, požadované výrobní množství a parametry vstřikovacího lisu. Nej kvalitnější a nej přesnější výstřiky jsou u forem s malou násobností, nejlépe jednonásobné. U více násobných forem by se mělo rozložení tvarových dutin volit tak, aby dráha toku taveniny byla co možná nejkratší a stejně dlouhá, případně je nutno upravit vtokové ústí. [5]



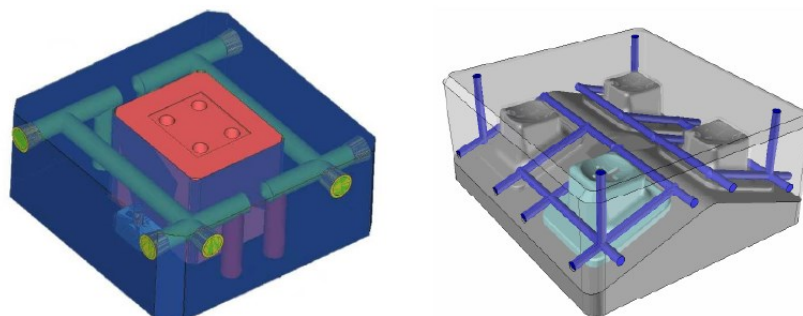
*Obr. 2.6 Příklad osminásobné vstřikovací formy [11]*

### 2.3.2 Temperační systém forem

Důležitou součástí vstřikovacích forem je temperační systém. Je to soustava kanálků uvnitř formy, kterými proudí chladicí médium a udržuje teplotu formy na předepsané hodnotě (liší se podle druhu vstřikovaného plastu). Cílem temperace je, aby se vstříknutá hmota ochlazovala co nejrychleji a rovnoměrně v celém objemu, jinak by mohlo nastat zdeformování finálního výstřiku.

Celý temperační systém je navrhován s ohledem na celkovou koncepci formy, jako je systém vtokových kanálků, tvarových vložek, vyhazovačů a jiných částí formy. Průřez kanálků je většinou kruhový a jejich vzdálenost od líce formy je přesně propočítán, aby nedocházelo k nerovnoměrnému ochlazování a nesnížila se tuhost a pevnost stěny dutiny. Z důvodu lepšího přestupu tepla se většinou volí více kanálků menšího průřezu s menší

roztečí, než méně kanálků většího průřezu a velké rozteče. Průtok kapaliny je orientován od nejteplejšího k nejstudenějšímu místu formy. Některé složitější vstřikovací formy, kde by mohl nastat problém s nerovnoměrným odvodem tepla, mohou mít několik na sobě nezávislých temperačních systémů. [4]

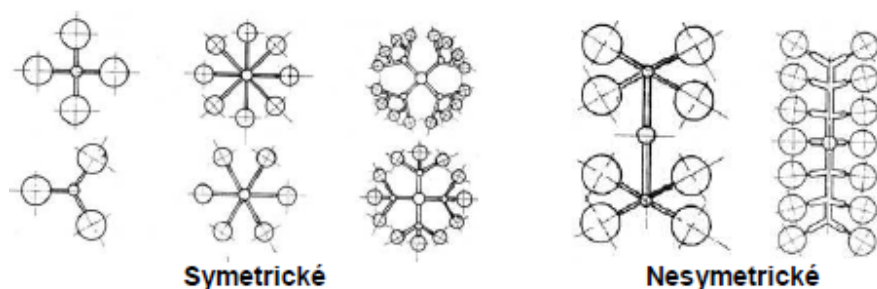


*Obr. 2.7 Příklad temperace části vstřikovací formy [12]*

To, jak moc se bude muset forma ohřát nebo naopak ochladit, aby se docílila požadovaná teplota, závisí na celkové energetické bilanci jak formy, tak okolního prostředí. Největší podíl tepla vnáší nebo odvádí právě temperační systém, následují upínací desky a proudění okolního vzduchu. Jak velké množství tepla se od/přivede temperačními kanálky závisí především na jejich poloze, tepelné vodivosti materiálu formy a rozdílu teplot. [3]

### **2.3.3 Vtokový systém forem**

Další nedílnou součástí vstřikovacích forem je vtokový systém. Je to opět soustava kanálků sloužících k dopravě roztaveného plastu od ústí trysky vstřikovacího válce až k tvarové části formy. Tvar, velikost a rozmístění rozváděcích kanálků má velký vliv na to jak bude tavenina ve formě proudit, jestli se nebudou vytvářet studené spoje, staženiny nebo jaký bude mít výstřik výsledný povrch. V zásadě se volí taková konstrukce soustavy vtokových kanálků, aby se tavenina dostala do tvarové části co možná nejkratší cestou a bez větších tlakových a teplotních ztrát. Při volbě tvaru a rozložení vtoků je nutno brát v potaz jakou má forma násobnost. V tomto případě se volí takové řešení, aby se roztavený plast dostal ke všem tvarovým dutinám pokud možno ve stejném časovém intervalu a o stejném tlaku. V případě, že to z technického hlediska není možné, provede se korekce vtokových kanálků, respektive jeho ústí. Tvarů vtokových ústí je velké množství a používají se podle toho, jakého charakteru je vstřikovaná součást. Mohou to být vtokové ústí bodové, deštníkové, talířové, tunelové a další. [3, 4]



Obr. 2.8 Příklad rozložení rozváděcích kanálků vícenásobné formy [35]

Kromě studených vtokových systému (viz výše) mohou být také horké vtokové systémy. Ty mají oproti studeným tu výhodu, že odstraňují vtokový zbytek a tím pádem není nutné dodatečné začišťování výstřiku, zkrátí se vstřikovací cyklus a uspoří část vstřikovaného polymeru. Mezi jejich nevýhody patří vyšší ceny formy nebo náročnější opravy vzhledem ke složitosti formy. Při konstrukci forem se používají čtyři základní typy horkých vtokových systémů: [3]

- komůrkové vtoky (vyznačují se poměrně krátkými vstřikovacími cykly a vyžadují pravidelný provoz, aby plast v komůrce zcela neztuhl),
- izolované rozváděcí kanálky (používají se u třideskových forem a pro rozváděcí kanálky velkého průřezu, mohou být doplněny i o vstřikovací trysku formy),
- vyhřívané rozváděcí kanálky (celý obsah kanálků je roztavený, jelikož rozváděcí část formy je opatřena tepelně izolovaným samostatně vyhřívaným blokem),
- vyhřívaná tryska formy (je součástí formy, bohužel ji nelze použít vždy, je to omezeno velikostí trysky a dostupného místa ve formě).

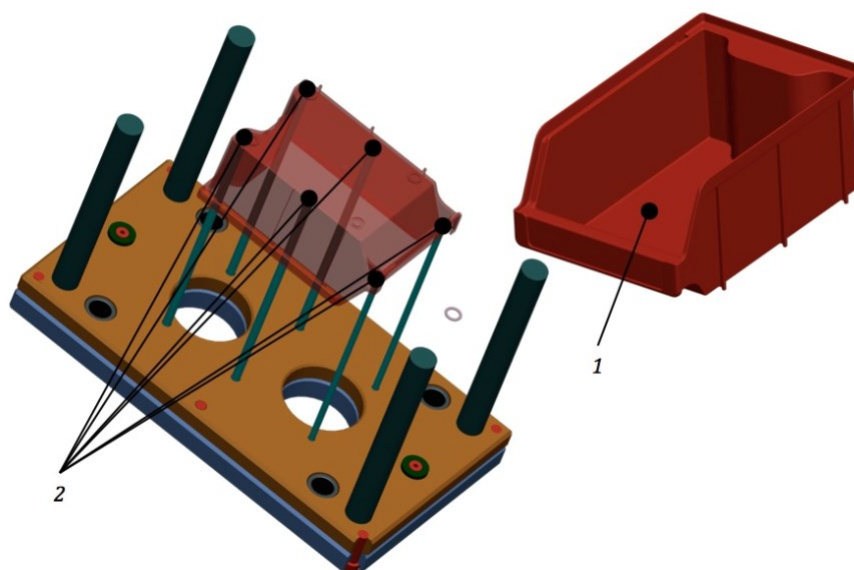


Obr. 2.9 Příklad vyhřívané trysky [13]

Výstřiky z termoplastických hmot se při ochlazování smršťují a pevně ulpívají na stěnách tvarových částí vstřikovacích forem. K jejich vyhození a vyhození vtokového zbytku ven z formy slouží vyhazovací systém. Je to soustava vyhazovacích kolíků různého



průřezu (i trubkového), nebo to může být i tzv. stírací deska potažmo stírací kroužek (především u výstřiků válcového tvaru). Kromě těchto mechanických způsobů vyhození výstřiku existují i jiné mechanismy vyhazování, jako například pomocí stlačeného vzduchu nebo různých manipulátorů. Pohyb vyhazovačů je odvozen buď od pohybu částí formy, nebo působením pružin. Ve většině případů se jedná o vyhazovače od hydraulického vyhazovacího systému vstřikovacího stroje. Vyhazovací síla je vždy počítána s ohledem na smrštění výstřiku, na adhezi plastu k lici formy, na podtlak vznikající při vyhození a na pružných deformacích formy. [3]



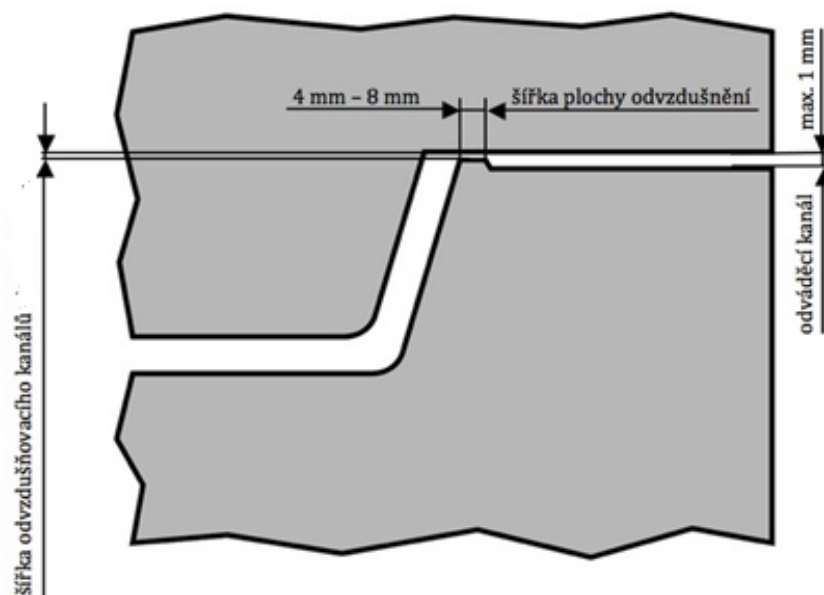
Obr. 2.10 Příklad vyhazovacího systému vstřikovací formy [36]

1 – vstřikovaný díl, 2 – body umístění vyhazovačů na vstřikovaném dílu

#### 2.3.4 Odvzdušnění vstřikovacích forem

Při vstřikování taveniny plastu do prázdné dutiny formy se musí vzduch, který je v dutině dostat ven z formy, jinak hrozí nárůst tlaku vzduchu, což ve spojení s horkou taveninou může vyvolat jeho zažehnutí a degradaci výstřiku. Tento jev byl pojmenován Diesedlův efekt. Kromě této vady může vzduch uzavřený v dutině vytvořit v tavenině bubliny nebo v případě, kdy je vstřikovací tlak malý, může dojít k nedotečení (nedostříknutí), což se po ztuhnutí výrobku projeví na jeho vzhledu a mechanických vlastnostech. Místo odvzdušnění proto bývá v takovém místě, kam se tavenina dostane nejpozději. V některých případech se toto místo musí určovat pomocí zkoušek. Odvzdušnění může být provedeno pomocí otvorů, různých trnů a vložek. Velmi často

je odvzdušnění zajištěno vyhazovači, kde mezera několik setin mezi vyhazovačem a dírou pro vyhazovač v tvarové dutině postačí k odvzdušnění formy. Jedním z dalších způsobů jak formu zbavit stlačeného vzduchu v tvarové dutině je pootevření formy po naplnění dutiny na  $(80 - 95) \%$  objemu o  $(0,1 - 0,2) \text{ mm}$ , dojde k odvzdušnění a pak se forma opět uzavře a proběhne dostříknutí objemu. Toto se praktikuje především při zpracování reaktoplastů. [4, 5]



Obr. 2.11 Příklad odvzdušnění dutiny vstřikovací formy [14]

### 2.3.5 Materiály pro výrobu vstřikovacích forem

Cena každé vstřikovací formy je z určité části odvozena od ceny materiálu, ze kterého je vyrobena. Žádná forma není vyrobena pouze z jednoho druhu materiálu. Její části jsou nejvíce namáhány na tlak, opotřebení a podle druhu vstřikovaného plastu také na korozi. Na konstrukční části formy (to jsou např. různé rozpěrky, opěrné a kotevní desky) jsou kladeny jiné nároky, než na části funkční (tvarové vložky, vodící trny, vyhazovače, atd.). Důležitými faktory při volbě materiálu je druh vstřikovaného polymeru, velikost a složitost výrobku, odolnost proti opotřebení a korozi, počet vyráběných kusů, obrobiteľnost, požadované fyzikální a mechanické vlastnosti, ale mimo jiné také jeho cena.

Nejdůležitějšími a nenahraditelnými materiály pro výrobu vstřikovacích forem jsou oceli. Těch je ovšem velké množství, každá má svoje specifické vlastnosti a to zužuje okruh jejich použití. Pro výrobu tvarových dutin a mechanicky namáhaných částí formy se často používá ocel nástrojová, cementační nebo legovaná. Velmi důležité je také tepelné



zpracování na funkčních a tvarových částech formy, špatné tepelné zpracování mnohdy vede k znehodnocení celého nástroje nebo k velkým potížím za provozu. Některé firmy si dokonce nechávají vyrábět vstřikovací formy z ocelí, které si samy vyvinuly přímo pro daný druh plastu.

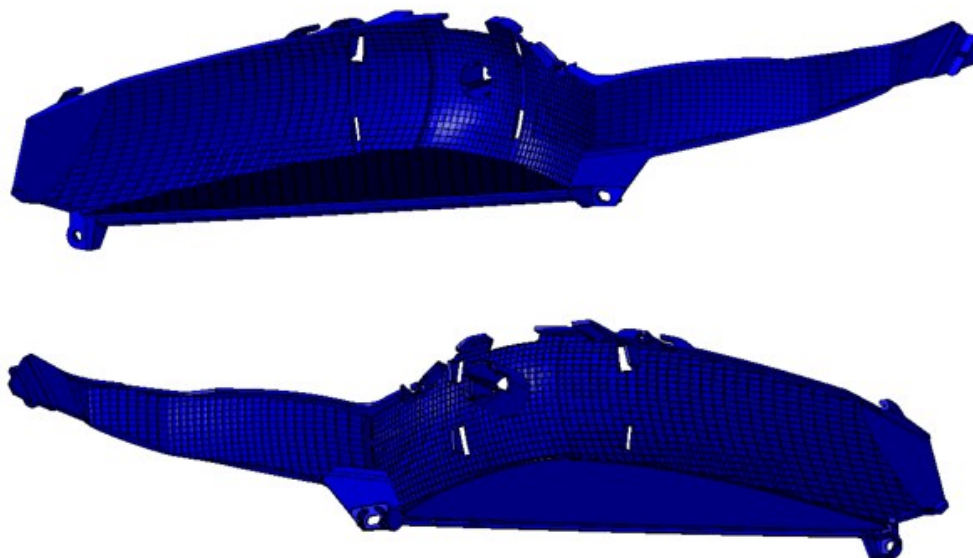
Kromě ocelí se při výrobě forem používají i jiné materiály jako je hliník, dural, měď, mosaz a nejrůznější izolační a ochranné materiály. Z hlediska životnosti formy je velmi důležité již zmiňované tepelné nebo chemicko-tepelné zpracování, povrchová úprava (leštěný povrch je odolnější vůči korozi) a v neposlední řadě také vlastní zacházením s formou.[4, 6]

*Tab. 2.1 Oceli pro konstrukci vstřikovacích forem*

DIN	ČSN	Vlastnosti a použití
1.2162	19 487	Cementační ocel, dobře obrobitelná, leštitelná. Použití pro tvarové díly a součásti forem. V základním stavu dobře svařitelná. (58 – 62) HRc.
1.2343	19 552	Nejpoužívanější ocel pro tvarové díly forem. Dobrá pevnost, houževnatost a prokalitelnost. Vhodná k nitridaci a povlakování. Méně odolná proti opotřebení. (48 - 53) HRc
1.2344	19 554	Kalitelná ocel pro tvarové díly forem. Podobné vlastnosti jako ocel 1.2343, lepší leštitelnost
1.2842	19 312	Kalitelná ocel pro univerzální použití. Vysoká tvrdost při dostatečné houževnatosti. (56 - 64) HRc
1.1191	12 050	Jakostní konstrukční ocel pro méně namáhané díly forem. Obtížně svařitelná. (vyhazovací tyče, táhla).
1.7131	14 220	Cementační ocel, pro součásti forem s povrchovou odolností proti opotřebení. V základním stavu dobře svařitelná a obrobitelná.

### 3 VÝROBA VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO REFLEKTOR

Pro finální podobu výrobku, který byl designově odsouhlasen zákazníkem, viz obr. 3.1 je nutné správně navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu tak, aby bylo možné tento díl vyrobít v požadovaném rozměrovém tvaru, dekorativní kvalitě a aby splňoval všechny funkční požadavky, které jsou na něj kladeny.

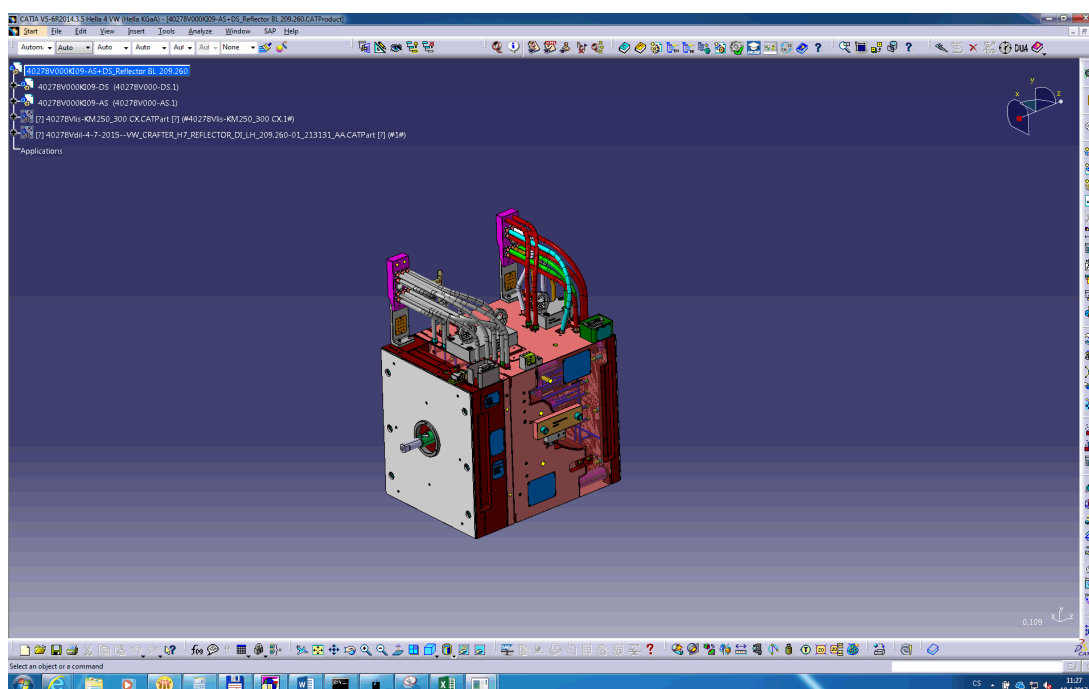


*Obr. 3.1 Model výstřiku v programu CATIA*

#### 3.1 Návrh a konstrukce vstřikovací formy

##### 3.1.1 Použitý software

CATIA V5 – je nejpoužívanější CAD systém v leteckém a automobilovém průmyslu na celém světě. Poskytuje komplexní nástroje pro konstruování a vývoj výrobků v nejrůznějších průmyslových odvětvích. CATIA umožňuje práci více konstruktérů v rámci jednoho projektu, přičemž program zaručuje okamžité promítnutí provedených změn do ostatních částí konstruované součásti v rámci projektu. [15]



Obr. 3.2 Náhled na pracovní prostředí softwaru CATIA V5

### 3.1.2 Materiál výstřiku

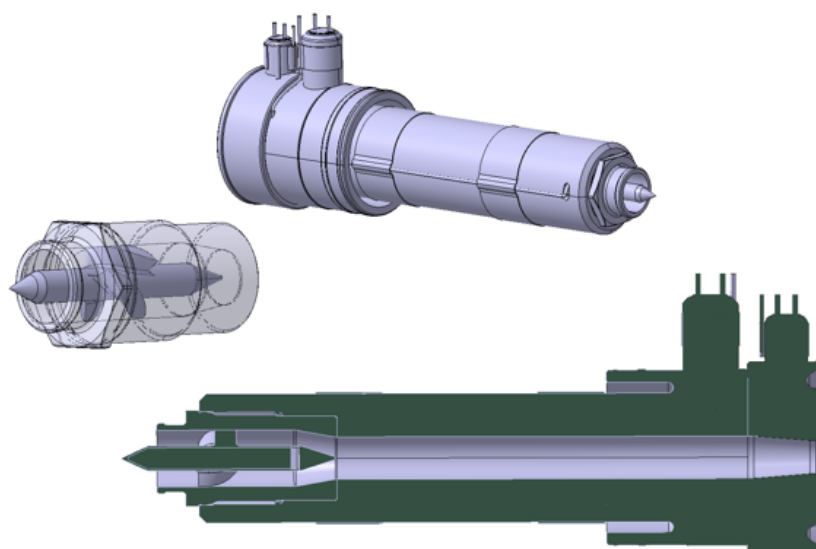
Pro zadaný výstřik byl po všech prověřovacích simulacích vybrán materiál PC-HT Apec 1695 black. Jedná se o modifikovaný polykarbonát. Dodavatelem tohoto materiálu je např. německá firma Covestro AG sídlící v Leverkusenu. Tento materiál se vyznačuje vysokou odolností proti UV záření, dále proti hydrolyze a to až do  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Díky vysoké odolnosti proti mechanickému namáhání i za vyšších teplot se jeho užití nachází v automobilovém průmyslu a to především pro výrobu jednotlivých dekorativních součástí předních světlometů.

Tab. 3. 1 Vlastnosti materiálu PC - HT Apec 1695

Vlastnost	Hodnota		Norma
Napětí v tahu ( $\sigma$ )	68	MPa	ISO 527 -1, 2
Modul pružnosti v tahu (E)	2 400	MPa	ISO 527 -1, 2
Poměrná deformace materiálu ( $\epsilon$ )	6,2	%	ISO 527 -1, 2
Mez přetržení	>50	%	ISO 527 -1, 2
Rázová houževnatost dle Charpyho ( $a_{cu}$ )	-	$\text{kJ.m}^{-2}$	ISO 179 – 1eU
Modul pružnosti v ohybu ( $W_o$ )	2 400	MPa	ISO 178
Napětí v ohybu ( $\sigma_o$ )	100	MPa	ISO 178

### 3.1.3 Řešení vtokového systému

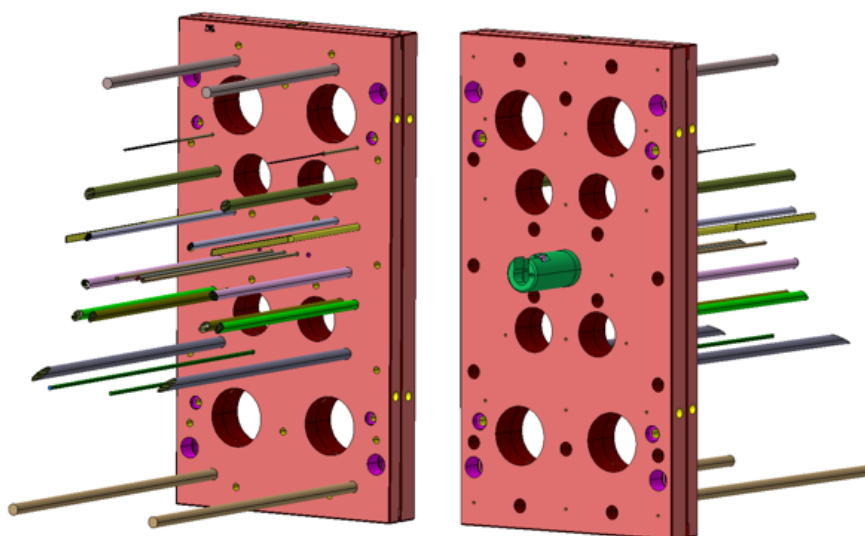
Vtokový systém slouží k dopravě taveniny vstřikovaného materiálu od trysky vstřikování k tvarové dutině formy. Je důležité tento vtokový systém navrhnout co nejlépe, abychom zajistili co nejrovnoměrnější plnění a to co v nejkratším čase. V tomto případě byl navrhnut horký vtokový systém od výrobce Mold Masters a to typ 999MK-150179. Horký vtok je sestava vyhřívaných komponent (hlavní vtok, rozvodová deska, trysky a ovládání jehly), které udržují vstřikovaný polymer při konstantní teplotě do dutiny formy. Polymer má zaručenou stálou viskozitu v celém průřezu a délky rozváděcího systému od začátku vtoku, až do ústí dutiny formy.



Obr. 3. 3.3 Mold Masters náhled a řez horkým vtokovým systémem

### 3.1.4 Vyhazovací systém vstřikovací formy

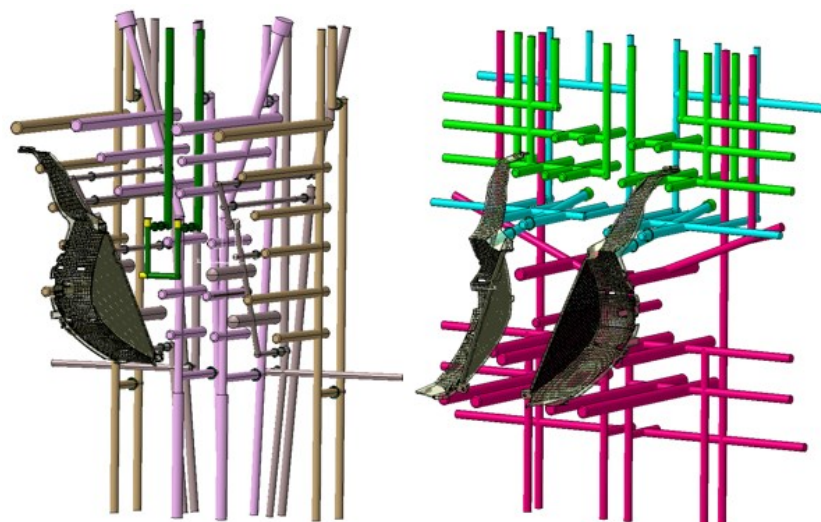
Vyhazovací systém je nedílnou součástí vstřikovací formy. Jakmile dojde ke ztuhnutí taveniny v tvarové dutině, dojde k otevření formy. Vyhazovací systém musí následně zajistit bezpečné vyhození výstřiku bez jakýchkoliv deformací. Jednotlivé vyhazovače zanechávají na výstřiku stopy, proto je volíme zpravidla na nefunkční ploše. Tyto vyhazovače jsou umístěny v kotevní a přidržovací desce. Výrobci normalizovaných vyhazovačů je spousta (např. STRACK, HASCO a další). V našem případě bylo použito mechanického systému s válcovými a plochými vyhazovači od firmy KNARR Vertriebs GmbH, s vytvořenou aretací proti pootočení. Jednotlivé vyhazovače jsou opatřeny chemickým povlakem (DLC), který zajišťuje materiálu lepší mechanické vlastnosti a to hlavně lepší kluznost.



*Obr. 3.4 Schéma vyhazovacího systému formy*

### 3.1.5 Temperační systém vstřikovací formy

Tento systém slouží k udržení teploty vstřikovací formy na požadované hodnotě a pro zajištění optimálního vstřikovacího cyklu. Jak již bylo zmíněno, topným médiem temperačního systému je topná a chladicí voda, která cirkuluje v rozvodných kanálcích uvnitř formy. V našem případě budeme vstřikovací formu ohřívat a to jak pevnou tak pohyblivou část na  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Temperace je provedena pomocí čtyř na sobě nezávislých okruhů a jednoho okruhu pro trysku, abychom dosáhli optimálních výsledků výstřiku z materiálu PC – HT Apec 1695. Jednotlivé okruhy jsou navrženy tak, aby došlo k co nejrovnoměrnějšímu ohřátí formy.



Obr. 3.5 Schéma temperačního okruhu pevné a pohyblivé strany formy

Nedílnou součástí temperace při vstřikování plastů je mobilní temperační přístroj s vodním nebo olejovým teplostěnným médiem. V tomto případě se jedná o vodní temperační přístroj REGLOPLAS 300L.



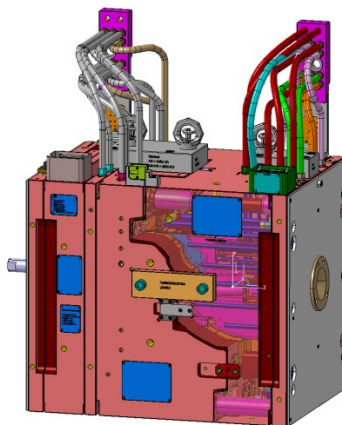
Obr. 3.6 Vodní temperační přístroj REGLOPLAS 150 [34]

Tab. 3.2 Parametry temperačního přístroje REGLOPLAS [16]

Název přístroje[-]	REGLOPLAS 300L
Teplostěnné médium[-]	Voda
Výstupní teplota[°C]	300 °C
Topný výkon[kW]	40 kW
Chladicí výkon[kW]	160 kW
Výkon čerpadla [min <sup>-1</sup> ]	90 min <sup>-1</sup>

### 3.1.6 Parametry vstříkovací formy

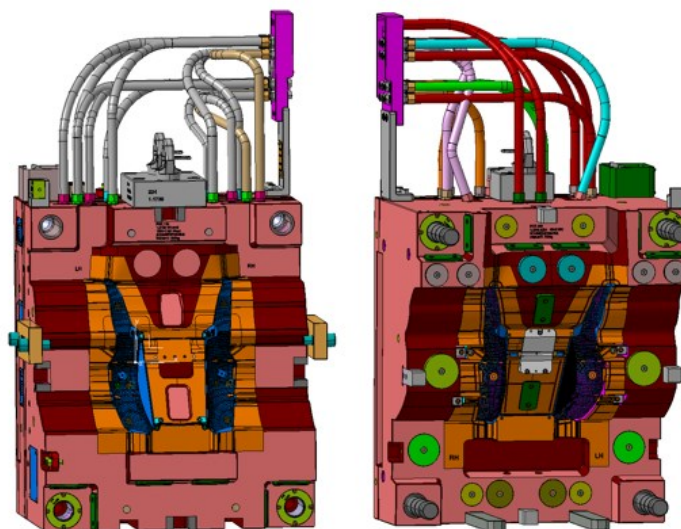
Pro zadaný výrobek byla vstříkovací forma navržena jako dvojnásobná, s horkým vtokovým systémem Mold Masters 999MK-150179. Forma je tvořena pevnou a pohyblivou stranou, včetně vyhazovacího a temperačního systému.



Obr. 3.7 Pohled na složenou vstříkovací formu

Tab. 3.3 Parametry vstříkovací formy

Účel formy[-]	Reflektor
Násobnost [-]	2
Šířka [mm]	596 mm
Výška [mm]	810 mm
Délka [mm]	696 mm
Hmotnost strany tvárníku [kg]	1480 kg
Hmotnost strany tvárnice [kg]	1040 kg
Celková hmotnost [kg]	2520 kg
Navržená životnost formy [ks]	2520000 ks



Obrázek 3.8 Pohled na rozloženou vstřikovací formu

Tab. 3.4 Parametry vstřikování

Teplota pohyblivé části formy [°C]	100 °C
Teplota pevné části formy [°C]	100 °C
Uzavírací síla [kN]	2000 kN
Vstřikovací tlak [bar]	80,78 bar
Čas dotlaku [s]	7 s
Čas chlazení[s]	21 s
Teplota trysky [°C]	75 °C
Doba cyklu [s]	55 s

### 3.2 Volba vstřikovacího stroje

Volba vstřikovacího stroje vychází z několika základních pravidel, a to: velikost vstřikovací formy, rozměr mezi sloupky vstřikovacího stroje a velikost upínacích desek. Dále také uzavírací síla, vstřikovací tlak a maximální objem zdvihu šneku. Pro navrženou formu jsme zvolili vstřikovací lis Krauss Maffei C 420 SP 1900.





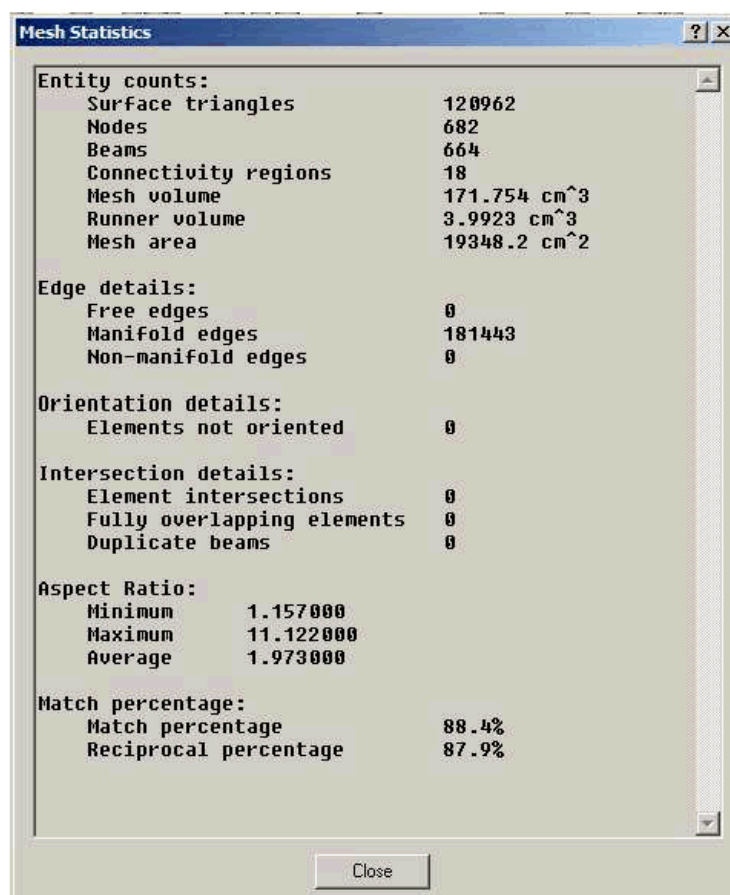
Obr. 3.9 Vstřikovací stroj Krauss Maffei C 420 SP 1900 [16]

Tabulka 3.5 Parametry vstřikovacího stroje

Typ vstřikovacího stroje	Krauss Maffei C 420 SP 1900
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	800 x 800 mm
Uzavírací síla [kN]	4200 kN
Specifický vstřikovací tlak [bar]	2420 bar
Maximální objem zdvihu [cm <sup>3</sup> ]	769 cm <sup>3</sup>
Průměr šneku [mm]	60 mm
Výkon topení [kW]	29 kW
Síla vyhazovače [kN]	95/48 kN
Dráha vyhazovače [mm]	250 mm
Max. otevření upínacích desek [mm]	1020 mm
Plastikační kapacita stroje [g.s <sup>-1</sup> ]	65 g.s <sup>-1</sup>
Maximální hmotnost výstřiku [g]	700 g
Otáčky šneku [min <sup>-1</sup> ]	285/349 min <sup>-1</sup>
Hmotnost vstřikovacího stroje [kg]	17000 kg

### 3.3 CAE analýza v programu Autodesk Moldflow

CAE aplikace Autodesk Moldflow je simulační software pro oblast vstřikování plastů. Moldflow poskytuje nástroje, které pomáhají definovat, vyhodnotit a optimalizovat technologický design plastových dílů a vstřikovacích forem.



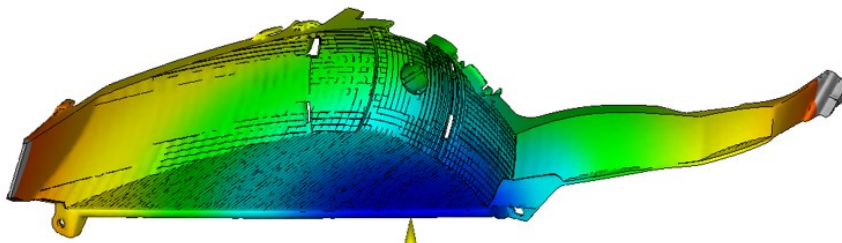
Obr. 3.10 Zadané hodnoty pro výpočet simulace Moldflow

V tomto programu byla z navržených parametrů spočítána analýza toku taveniny dutinou formy.

### 3.3.1 Čas plnění

Díky analýze Fill time (čas plnění) se zobrazí, za jakou dobu se zcela zaplní dutina vstřikovací formy. U vícenásobných forem je důležité sledovat, zda-li dochází k rovnoměrnému plnění všech dutin vstřikovací formy.

Fill time  
= 3.920[s]

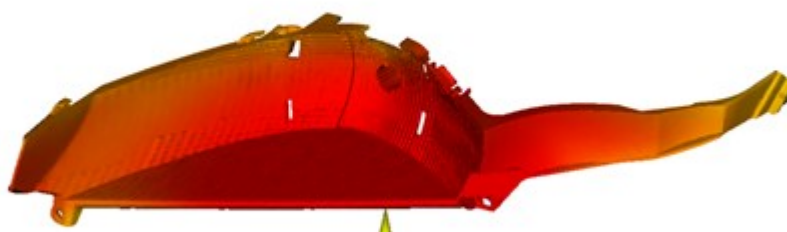


Obr. 3.11 Simulace času plnění dutiny vstřikovací formy

### 3.3.2 Teplota na čele taveniny

Díky analýze Temperature at flow front (teplota na čele taveniny) se zobrazí, jaká je hodnota teploty na čele taveniny. Pokud by došlo k velkému zvýšení teploty, mohlo by dojít k znehodnocení výstřiku z důvodu degradace vstřikovaného polymeru, v opačném případě velmi nízké teploty ke vzniku tzv. studených spojů.

Temperature at flow front  
= 330.2[C]

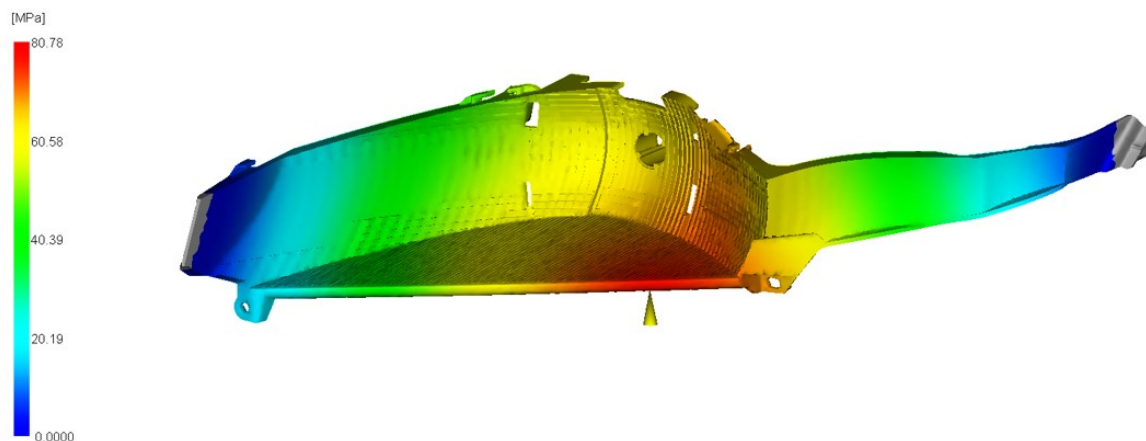


Obr. 3.12 Simulace teploty na čele taveniny

### 3.3.3 Tlak při přepnutí na dotlak (Pressure at V/P switchover)

Tato analýza nám zobrazuje tzv. bod přepnutí, což je hodnota tlaku, při které dochází k přepnutí na dotlak. K přepnutí dochází automaticky a to při cca 98 % zaplnění dutiny vstřikovací formy.

Pressure at V/P switchover  
= 80.78[MPa]



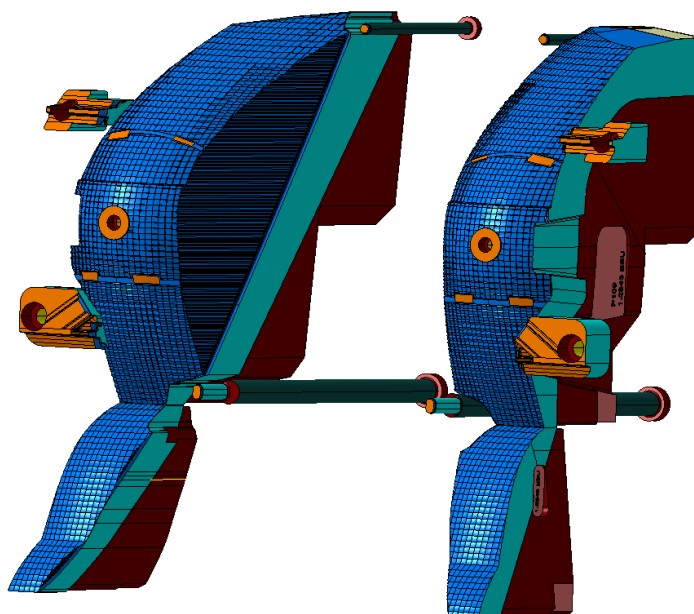
*Obr. 3.13 Simulace přepnutí tlaku na dotlak*

## 4 VÝROBA TVAROVÝCH ČÁSTÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY

Tvarové části navržené vstřikovací formy (tvárník, tvárnice a vložky) budou vyráběny dvěma technologiemi a to třískovým obráběním, které bude prováděno na CNC strojích uvedených níže a tvarově složitější části elektroerozivním (elektrojiskrovým) obráběním.

### 4.1 Třískové obrábění

Technologie třískového obrábění je způsob, při kterém dochází k vytvoření nových povrchů odstraňováním materiálu v podobě třísky řezným nástrojem. Při výrobě vstřikovacích forem má největší zastoupení technologie frézování, dále pak technologie soustružení, broušení a vrtání. Frézování je nenahraditelnou technologií třískového obrábění, kde hlavní řezný rotační pohyb vykonává vícebřitý nástroj a pomocné pohyby (posuv a přísuv) obrobek. Dříve se frézování používalo výhradně k obrábění rovinných ploch, ale postupným technickým vývojem a rozvojem víceosých strojů se začali obrábět jakékoliv tvary obrobků, různé otvory, dutiny nebo třeba i závity, které se dříve obráběly výhradně soustružením. Kromě stroje a volby řezných podmínek má největší vliv na jakost obrobeného povrchu nástroj. Způsob řízení dráhy nástroje prodělal také velký rozvoj a díky dnešnímu CNC řízení a podpory CAD/CAM softwarů je možné naprogramovat dráhu nástroje téměř ve všech směrech. Současné trendy v oblasti výroby vstřikovacích forem si žádají stále větší zkracování výrobních časů a snižování nákladů na výrobu což vede k vývoji nových nástrojů, frézovacích strategií a použití moderních frézovacích center, která umožňují obrábět i složité tvarové díly. Jde především o co největší úběr materiálu v co nejkratším čase. Při obrábění se používají procesní média, která zlepšují celý proces obrábění, ovšem jejich složení (většinou na bázi ropy) může mít špatný vliv nejen na zdraví člověka, ale také na životní prostředí. Proto se začínají prosazovat technologie jako je vysokorychlostní, suché a tvrdé obrábění, kde jejich použití není podmínkou. [17]



Obr. 4.1 Výroba vložek vstřikovací formy třískovým obráběním

## 4.2 Vysokorychlostní obrábění - HSC

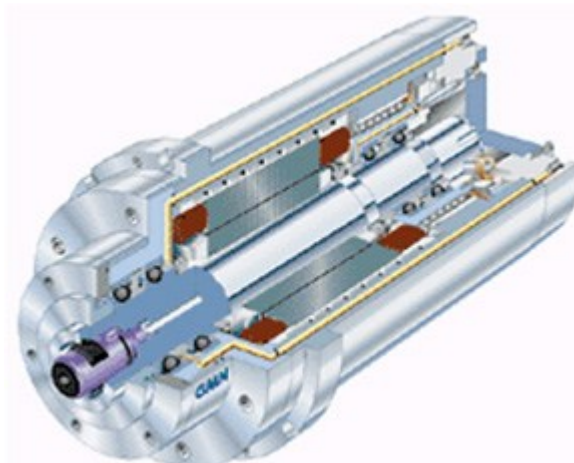
Mezi výhody vysokorychlostního obrábění (HSC), patří například nízká teplota řezného nástroje a obrobku v mnoha případech zvyšuje jejich životnost. Na druhou stranu při vysokorychlostním obrábění se využívají velmi mělké řezy a doba záběru je extrémně krátká. Dá se říct, že posuv je vyšší než rychlost šíření tepla materiálem.

Nízké řezné síly způsobují menší a stálou výchylku nástroje. V kombinaci s úběrem stále stejně silné vrstvy materiálu nástroji určenými pro konkrétní operaci je to jeden z předpokladů vysoce produktivního a bezpečného procesu. Vzhledem k mělkým řezům při vysokorychlostním obrábění klesají radiální síly působící na nástroj a vřeteno. Tím se šetří ložiska vřetena, vodítka a kuličkové šrouby. Vysokorychlostní obrábění se dá dobře kombinovat s axiálním frézováním vzhledem k tomu, že nejsou příliš zatěžována ložiska vřetena a tato metoda umožňuje používat delší nástroje s nižším rizikem vibrací.

HSC umožňuje produktivní obrábění malých součástí. Hrubování, polodokončování a dokončování lze provádět úsporně, pokud je celkový úběr materiálu obrobku relativně malý.

Také produktivita obecného dokončování je vysoká a lze dosáhnout velmi dobré jakosti obrobeného povrchu. Je možné obrábět velmi tenké stěny, například stěnu silnou 0,2 mm a vysokou 20 mm, s použitím sousměrného frézování. Doba kontaktu břitů s obrobkem musí být velmi krátká, aby nevznikaly vibrace a stěna obrobku se nevychylovala. Mikrogeometrie frézy musí být velmi pozitivní a břit velmi ostrý. Vyšší

geometrická přesnost forem a zápustek zjednodušuje a zrychluje montáž. Žádná obsluha obráběcího stroje, nezávisle na tom, jak je zkušená, nemůže dosáhnout struktury a geometrie povrchu vytvořené CAM/CNC řízením. Prodloužení doby obrábění o několik hodin může vést k významnému zkrácení potřebné doby pro leštění. Často o 60 – 100 %. [44]



*Obr. 4.2 Vysokootáčková vřetena pro automatickou výměnu nástrojů s integrovaným asynchronním motorem [21]*

### 4.3 Frézování dutin vstříkovacích forem

Jak již bylo uvedeno výše, při obrábění tvarových částí vstříkovacích forem se v největší míře využívá frézování. Díky vývoji moderních frézovacích center jsme schopni dosáhnout velmi dobrých geometrických vlastností obráběného povrchu. Moderní CAD/CAM softwary nám usnadňují práci při modelování jednotlivých částí formy a následně také generování drah obráběcího nástroje. Při výrobě vstříkovací formy se v podstatě jedná o dva způsoby obrábění, a to hrubování a dokončování.

#### 4.3.1 Hrubování

Cílem hrubování je hospodárně a co nejrychleji odebrat co největší objem materiálu a tím přiblížit konturu pro následné dokončování. Při velmi pečlivém přiblížení se požadované kontuře již při hrubování je možné v některých případech upustit od předdokončování a značně omezit vlastní dokončování. Velmi často se dosahuje výrazně lepšího přiblížení k cílové tvarové kontuře pomocí nástroje se zaobleným tvarem břitu. Obrábění nástroji s kruhovými destičkami je však obtížnější na procesní řízení z důvodu zajištění odpovídající procesní spolehlivosti. Hrubování je nejčastěji realizováno pomocí frézovacích hlav s VBD. Z hlediska tvaru proti čtvercovým, popř. kosočtvercovým VBD



hovoří kromě špatného přizpůsobení cílové kontury také poměrně velké radiální síly, které negativně ovlivňují obrobený povrch. Pro použití kruhového tvaru VBD hovoří jejich plynulejší záběr. Jsou také s výhodou využívány při víceosém obrábění tvarových ploch a s jejich pomocí lze kombinovat klasické frézování s torickým.

Nepostradatelným předpokladem při frézování ocelí je kontinuální a sousledný záběr břitu frézy. Orientace jednotlivých drah musí být volena též s ohledem na to, aby nedocházelo ke krátkým a prudkým stoupáním či klesáním. Při vysokorychlostním frézování se nejvíce osvědčilo tzv. kapsování (kapsovací frézování), při kterém je kontura zhotovována ve spirálových drahách a lze zde poměrně dobře dodržet rovnoměrné záběrové podmínky při respektování výše uvedených omezení či doporučení. [22]



*Obr. 4.3 Příklad hrubovací operace [23]*

#### **4.3.2 Dokončovací proces obrábění**

Obrábění na čisto vždy následuje po hrubovacích operacích, kterých může být více. I dokončovacích operací může být několik, nikoliv pouze jedna. Zde je cílem se přiblížit požadované kontuře s nulovým přídávkem, tedy přesně daný tvar kopírovat a odstranit tak přídavek po hrubování. Dokončovacími strategiemi je nepřeberné množství a způsob jejich volby závisí na tvaru obráběné plochy. Ty, které mají minimální nebo nulový sklon se mohou frézovat spirálově nebo vrstevnicově, kdy lze zachovat stejné záběrové podmínky. Ovšem některé problematické partie (vnitřní rohy, úzké a hluboké dutiny, lopatky, atd.) se musejí obrábět pomocí speciální NC funkcí. Výrobci frézovacích softwarů



se neustále snaží vytvářet nové nebo zdokonalovat stávající strategie, aby celý proces obrábění byl co nejefektivnější. Tyto softwary po zadání všech vstupních parametrů a zvolení vhodné strategie obrábění automaticky vypočítají dráhy pohybu frézovacího nástroje. Stejně jako u hrubování je zde kladen důraz na plynulé navazování drah a žádné skokové změny směru. [22]



*Obr. 4.4 Příklad dokončovací operace [24]*

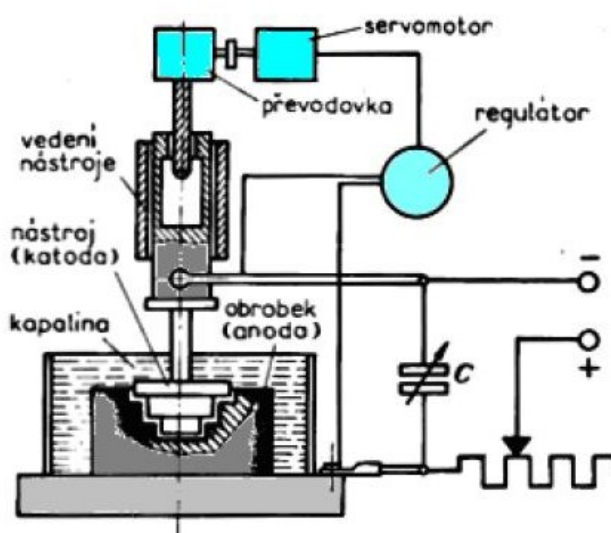
#### **4.4 Elektrojiskrové (elektroerozivní) obrábění (EDM)**

Je technologie, při níž se materiál odebírá drobnými elektrickými výboji (jiskrami) mezi obrobkem a elektrodou v kapalném dielektriku. Hlavní výhody spočívají v tom, že lze obrábět i velmi tvrdé materiály, mezi nástrojem a obrobkem nepůsobí mechanické síly a stroje se velmi snadno řídí počítačem (CNC). Pro vysokou přesnost a kvalitu povrchu a pro možnost obrábět i velmi složité tvary se nejčastěji používá při výrobě lisovacích nástrojů. Hlavní nevýhodou je pomalý odběr materiálu a energetická náročnost. Při výrobě užíváme dvou metod a to elektrojiskrové hloubení a řezání (drátování). [25]

##### **4.4.1 Elektrojiskrové hloubení**

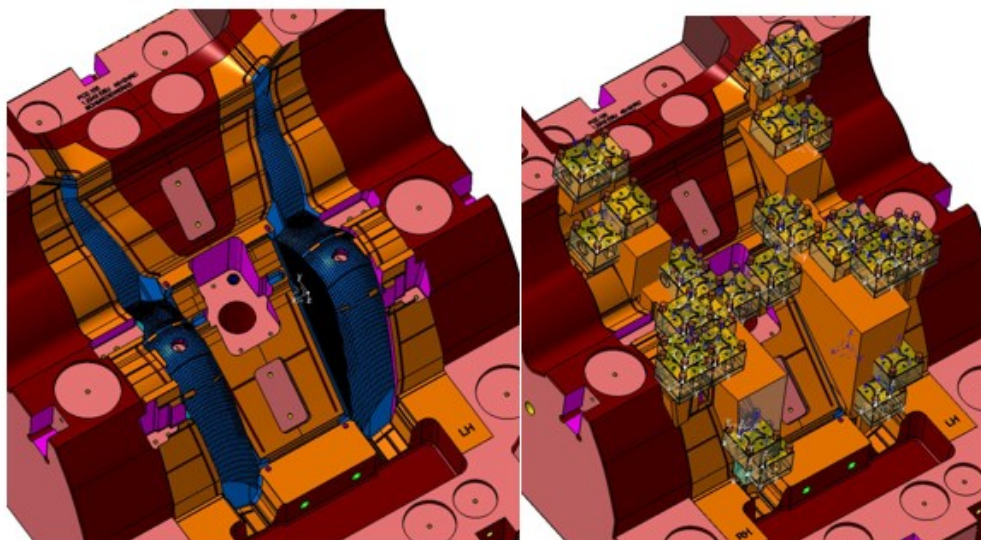
Elektrojiskrové hloubení se využívá zejména při výrobě složitých vnitřních tvarů, zápusťek, střížných nástrojů atd. Úběr materiálu způsobují elektrické jiskry přeskakující mezi elektrodou (katodou) a obrobkem (anodou). Pomocí jisker je materiál pomalu oddělován a odplavován dielektrickou (elektricky nevodivou) kapalinou. Nástroje jsou

vyráběny z mosazi, mědi nebo grafitu. Mezi výhody elektrojiskrového hloubení patří obrobitelnost materiálu bez ohledu na jeho mechanické vlastnosti, nedochází k žádným mechanickým deformacím a také jednoduchá výroba elektrody a to že po obrobení nevznikají žádné otřepy. Mezi nevýhody patří to, že obrobek musí být ponořen v dielektrické kapalině (např. v destilované vodě). [26]



Obr. 4.5 Princip elektrojiskrového hloubení [26]

Při výrobě zmíněné vstřikovací formy byly použity držáky elektrod od dodavatele EROWA AG, které jsou zobrazeny na obr. 4. 6. V levé části obrázku je zobrazen požadovaný tvar v 3D modelu vstřikovací formy, v pravé části pak umístění jednotlivých držáků elektrod.

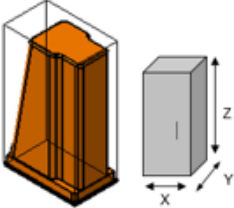


Obr. 4.6 Zobrazení umístění držáků pro elektrody

Dále byly při tomto způsobu obrábění použity grafitové elektrody od dodavatele POCO Graphite, SARL, a to konkrétně typy EDM 160, EDM 200, EDM – 1. Vlastnosti těchto elektrod jsou zobrazeny níže.

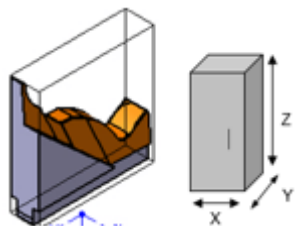
Elektroda EDM 160 – Grafit s ultra jemnou zrnitostí vhodný pro hrubovací a dokončovací operace. Je odolný vůči opotřebení, umožňuje vysokou rychlost obrábění a jemné opracování povrchu. [42]

Tab. 4. 1 Parametry grafitové elektrody EDM 160 [42]

<b>Tvar vyrobené elektrody</b>	
Délka(X) [mm]	50 mm
Šířka (Y) [mm]	30 mm
Výška (Z) [mm]	85 mm
Velikost částic [ $\mu\text{m}$ ]	$< 12 \mu\text{m}$
Pevnost v ohybu [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	$550 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Pevnost v tlaku [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	$1020 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Tvrdost (Shore)	68
Měrný elektrický odpor [ $\Omega\text{m}$ ]	$14,5 \mu\Omega\text{m}$
Referenční rámeček [-]	Rectangle Measuring Frame + X + Y
Upínač [-]	Erowa Uniplate ER009219

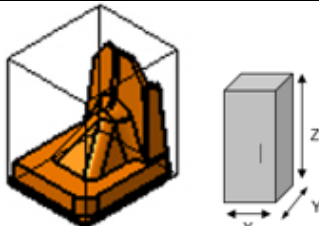
Elektroda EDM 200 – Izotropní super jemný grafit s dobrou pevností, odolností proti opotřebení a možností jemného opracování povrchu. Umožňuje vynikající opakovatelnost při výrobě většího počtu elektrod. [43]

Tab. 4. 2 Parametry grafitové elektrody EDM 200 [43]

<b>Tvar vyrobené elektrody</b>	
Délka(X) [mm]	32 mm
Šířka (Y) [mm]	142 mm
Výška (Z) [mm]	145 mm
Velikost částic [ $\mu\text{m}$ ]	< 10 $\mu\text{m}$
Pevnost v ohybu [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	635 $\text{kg}/\text{cm}^2$
Pevnost v tlaku [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	1075 $\text{kg}/\text{cm}^2$
Tvrdost (Shore)	68
Měrný elektrický odpor [ $\Omega\text{m}$ ]	14,7 $\mu\Omega\text{m}$
Referenční rámeček [-]	Rectangle Measuring Frame + X + Y
Upínač [-]	Erowa Uniplate YDir ER010793

Elektroda EDM - 1 – Grafit s ultra jemnou zrnitostí vhodný pro hrubovací a dokončovací operace. Je odolný vůči opotřebení, umožňuje vysokou rychlost obrábění a jemné opracování povrchu. [43]

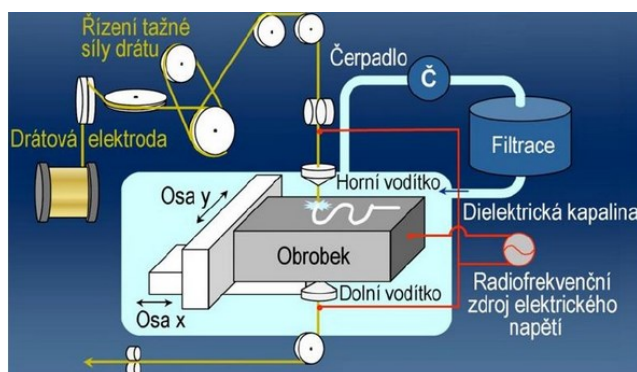
Tab. 4. 3 Parametry grafitové elektrody EDM - 1 [43]

<b>Tvar vyrobené elektrody</b>	
Délka(X) [mm]	50 mm
Šířka (Y) [mm]	50 mm
Výška (Z) [mm]	32 mm
Velikost částic [ $\mu\text{m}$ ]	<5 $\mu\text{m}$
Pevnost v ohybu [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	682 $\text{kg}/\text{cm}^2$
Pevnost v tlaku [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]	998 $\text{kg}/\text{cm}^2$

Tvrdost (Shore)	69
Měrný elektrický odpor [ $\Omega\text{m}$ ]	19,3 $\mu\Omega\text{m}$
Referenční rámeček [-]	Rectangle Measuring Frame + X + Y
Upínač [-]	Erowa Prisround ER009222

#### 4.4.2 Elektrojiskrové řezání

Elektrojiskrové řezání funguje na stejném principu jako elektrojiskrové hloubení. Metoda elektrojiskrového řezání se vyznačuje minimální šířkou řezu. Používá se při výrobě lisovacích, střížných nástrojů. Elektroda je tenký drát z mědi nebo jejích slitin, molybdenu nebo povlakovaný drát obsahující velké procento zinku. Drát se odvíjí od cívky přes vodící kladky a prochází místem řezu. Drát je napnut konstantní silou a prochází místem řezu. Prostor mezi drátem a obrobkem je zaplněn dielektrickou kapalinou.[27]



Obr. 4.7 Princip elektrojiskrového drátování (řezání) [27]

#### 4.5 Finální úpravy povrchů vstřikovací formy (leštění)

Leštění je operace obrábění, kterou se odstraní drobné nerovnosti, docílí se zrcadlový lesk a vysoká jakost obrobeného povrchu (až  $Ra < 0,1 \mu\text{m}$ ). Na rozdíl od broušení se jedná o malý úběr materiálu a dochází proto pouze k odstranění vrcholků nerovností po předchozím obrábění. Leštění lze provádět ručně nebo strojně.

##### 4.5.1 Mechanické leštění

Při mechanickém leštění je materiál obrobku odebírán mechanickým působením zrn tvrdých brousících materiálů, která jsou pevně uchycena na leštícím nástroji, nebo volně

nanesena mezi nástroj a obrobek. Před leštěním se povrch kotouče nasytí leštícím prostředkem jako je např. nanesení leštící pasty, nanesení směsi a brusiva nebo polévání kotouče po celou dobu leštění leštícím prostředkem. Výsledek leštění je ovlivněn druhem a zrnitostí brusiva, materiálem kotouče a jeho vlastnostmi a v neposlední řadě obvodovou rychlostí  $v_o$ , která se obvykle volí v rozmezí 25 až 40  $m.s^{-1}$ . Pro ruční i strojní leštění se používají různé druhy brusných a leštících kotoučů a past. [38]



*Obr. 4.8 Detail ručního leštění vstřikovací formy [39]*

#### 4.5.2 Chemické leštění

Je založeno na úběru materiálu chemickým působením vhodného roztoku na povrch obrobku. Dochází k chemické reakci, při které je nejdříve odebírán materiál na vrcholcích nerovností povrchu.

Průběh a výsledek chemického leštění závisí na dokonalém očištění povrchu obrobku, složení a koncentraci roztoku, na jeho teplotě, času a množství kovu rozpuštěného v roztoku. Optimální teplota leštícího roztoku závisí na materiálu obrobku a pohybuje se v rozmezí 70 až 90 °C. Materiál se rozpouští na všech plochách rovnoměrně, přičemž vznikají plyny, které musí mít možnost volně z roztoku odcházet. Chemické leštění se používá u součástí se složitými a členitými tvary, zejména při sériové hromadné výrobě. Výhodou je jednoduché zařízení a rychlost leštění. Nevýhodou jsou práce s chemikáliemi, vysoké náklady na regeneraci roztoku a na výrobní zařízení. [38]

#### 4.5.3 Elektrochemické leštění

Úběr materiálu se děje elektrochemickým rozpouštěním vrcholků nerovností povrchu. Obráběná součást je anoda ponořená do vhodného elektrolytu mezi vhodně



umístěné katody. Tímto způsobem lze leštit rovinné, vnější i vnitřní rotační a tvarové plochy. Leští se lopatky turbin, dutiny forem a zápustek, střížné a lisovací nástroje, ruční nástroje, ozubená kola, součásti armatur, vačkové a klikové hřídele, dekorativní předměty apod. Leštit lze předměty zhotovené z hliníkových slitin, korozivzdorných ocelí, kalených nástrojových ocelí, konstrukčních ocelí, mosazi, bronzů a dalších kovových materiálů. Typická lázeň pro elektrolytické leštění obsahuje stejné objemy kyseliny sírové koncentrace 96 % hm. a kyseliny ortofosforečné koncentrace 85 %. [38, 40]

Pracovní podmínky při leštění:

- proudová hustota: 5 A/dm<sup>2</sup> až 25 A/dm<sup>2</sup>
- teplota: 40 až 75 °C
- doba: 2 min. až 20 min.
- katody: korozivzdorná ocel, měď, olovo

Postup:

- odmaštění povrchu organickým (benzin, aceton) nebo alkalickým rozpouštědlem ( vídeňské vápno)
- upevnění v leštícím zařízení
- elektroodmaštění v alkalickém roztoku
- mytí v horké a studené vodě
- vlastní leštění
- mytí ve studené tekoucí vodě
- neutralizace v alkalickém roztoku
- mytí v teplé a studené vodě- sušení



Obr. 4.9 Příklad elektrochemicky vyleštěného výrobku [41]

#### 4.6 Použité strojní vybavení pro výrobu navržené vstříkovací formy

TRIMILL VC 1810 – je vertikální tuhý trojosý obráběcí CNC stroj, cíleně zkonstruovaný pro obrábění lisovacích nástrojů, forem a zápusťek. Provedení tohoto stroje je portálové centrum typu horní gantry. Konstantní výsledky stroje jsou zajištěny díky rovnoměrnému termosymetrickému vedení. Vysoká kvalita povrchu je zaručena pevným uloženým obrobku. Stroj je určen pro hrubování i dokončování na jedno upnutí, což zajišťuje vysokou produktivitu výroby. [28]

Tab. 4.4 Parametry stroje TRIMILL VC 1810 [28]

Pojezdy (X, Y, Z) [mm]	1800 x 1000 x 700 mm
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	14 000 $\text{min}^{-1}$
Upínací kužel	HSK – A80
Otevření v ose Z [mm]	950 mm
Upínací plocha [mm]	2000 x 1370 mm
Hmotnost obrobku [kg]	10 000 kg
Rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	30 000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Rozměry stroje ( $d_a \times \text{š} \times \text{v}$ ) [mm]	5000 x 3550 x 3810 mm
Hmotnost stroje [kg]	18 000 kg





Obrázek 4.10 Obráběcí centrum TRIMILL VC 1810 [28]

SAMAG TFZ 2 - 1000 – Je horizontální čtyřosý obráběcí CNC stroj. Byl navržen pro výrobu malých a středních forem až do maximální hloubky vrtání  $1250\text{ mm}$  a průměru vrtání do  $36\text{ mm}$ . Stroj je využíván pro výrobu kubických obroků a to s velikou efektivitou a přesností. [29]

Tab.4.5 Parametry stroje SAMAG TFZ 2 - 1000 [30]

Pojezdy (X, Y, Z) [mm]	1200 x 1100 x 1600 mm
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	6 000 $\text{min}^{-1}$
Upínací kužel	SK 40 (HSK 63)
Otevření v ose Z [mm]	-
Upínací plocha [mm]	1100 x 1100 mm
Hmotnost obrobku [kg]	7 000 kg
Rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	20 000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	-
Rozměry stroje ( $d_a \times š \times v$ ) [mm]	5700 x 7400 x 4050 mm
Hmotnost stroje [kg]	25 000 kg



Obrázek 4.11 Obráběcí centrum SAMAG TFZ 2 - 1000 [29]

EXERON EDM 314 – Je vysoce výkonné hloubicí zařízení pro výrobu nářadí, forem a erodování nestandardních materiálů. Konstrukce stroje je řešena jako portálová, která je vyrobena z polymerbetonu. Vysouvací naplněná nádrž zajišťuje volný a bezpečný přístup k obráběnému předmětu. [31]

Tab. 4.6 Parametry stroje EXERON EDM 314 [31]

Pojezdy (X, Y, Z) [mm]	900 x 700 x 450 mm
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	-
Upínací kužel	-
Otevření v ose Z [mm]	-
Upínací plocha [mm]	1150 x 850 mm
Hmotnost obrobku [kg]	3 000 kg
Rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	10 000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	-
Rozměry stroje ( $d_a \times v \times š$ ) [mm]	2200 x 3410 x 3100 mm
Hmotnost stroje [kg]	8 000 kg

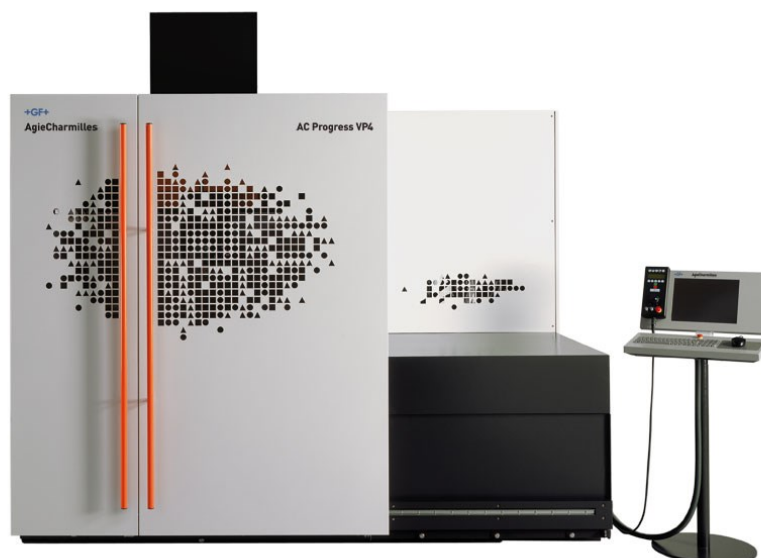


Obrázek 4.12 Obráběcí centrum EXERON EDM 314 [31]

AGIE PROGRESS VP4 – Je vysoce výkonné drátové řezací zařízení pro výrobu nářadí a forem. Vysoké produktivity tohoto zařízení je dosaženo kombinací vysoké statické rychlosti stroje, tuhosti a měřicího systému. [32]

Tab. 4. 7 Parametry stroje AGIE PROGRESS VP4 [32]

Pojezdy (X, Y, Z) [mm]	800 x 550 x 525 mm
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	-
Upínací kužel	-
Otevření v ose Z [mm]	-
Upínací plocha [mm]	800 x 550 mm
Hmotnost obrobku [kg]	3 000 kg
Rychlost posuvu [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	10 000 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Zrychlení [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]	-
Rozměry stroje ( $d_a \times v \times š$ ) [mm]	2900 x 3050 x 2850 mm
Hmotnost stroje [kg]	6 000 / 11 000 kg



Obrázek 4.13 Drátová řezačka AGIE PROGRESS VP4 [32]

## 4.7 Použité frézovací nástroje

Použité frézy pro hrubovací i dokončovací operace jsou dodávány firmou POKOLM Frästechnik GmbH & Co. Jedná se převážně o stopkové frézy s vyměnitelnými kruhovými destičkami a tvrdokovové monolitní frézy. Níže jsou uvedeny příklady použitých fréz dle katalogu výrobce.

### 4.7.1 Nástroje pro hrubovací operace

Tab. 4. 8 Fréza POKOLM s vnějším závitem a kruhovými VBD [33]

Katalogové označení	Průměr frézy Dc [mm]	Průměr VBD d [mm]	Počet VBD
3 25 294 SG	25	16	4

Tab. 4.9 Stopková tvrdokovová monolitní fréza POKOLM [32]

Katalogové označení	Průměr frézy Dc [mm]	Poloměr zaoblení r [mm]	Počet zubů
NW 0364 56 120	12	0,5	4



Obrázek 4.14 Příklad hrubovacích nástrojů: a) Fréza POKOLM s vnějším závitem a kruhovými VBD, b) Stopková monolitní fréza POKOLM [33]

#### 4.7.2 Nástroje pro dokončovací operace

Tab. 4. 10 Fréza POKOLM s vnějším závitem [33]

Katalogové označení	Průměr frézy Dc [mm]	Průměr VBD d [mm]	Počet VBD
16 214	16	8	2

Tab. 4. 11 Monolitní stopková kulová fréza POKOLM [33]

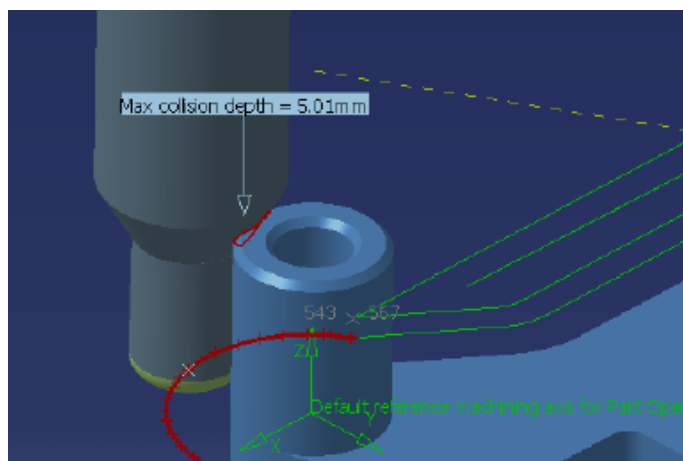
Katalogové označení	Průměr frézy Dc [mm]	Poloměr zaoblení r [mm]	Počet zubů
NW 1432 47 1208	12	6	2



Obrázek 4.15 Příklad dokončovacích nástrojů: a) Fréza POKOLM s vnějším závitem, b) Stopková monolitní kulová fréza POKOLM [33]

#### 4.8 Ověření procesu obrábění

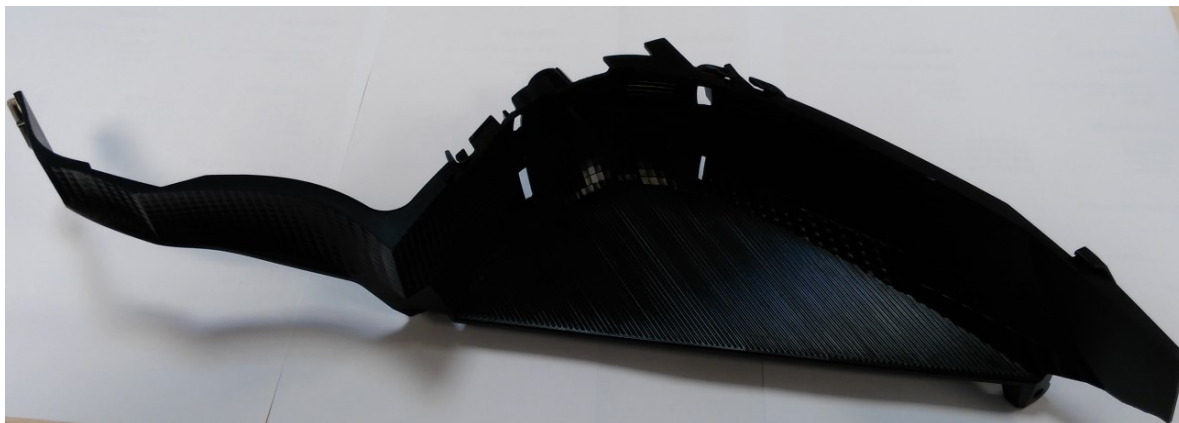
Tento proces slouží ke kontrole a případnému odstranění chyb, které by mohly nastat při programování jednotlivých drah obrábění. Můžeme tak odhalit možné kolize nástroje s obrobkem nebo se strojem a tím zabránit poškození stroje, nástroje i obrobku. Toto ověřování se provádí pomocí různých simulačních programů. V našem případě bylo použito simulace v programu CATIA V5.



Obr. 4.16 Simulace procesu obrábění v programu CATIA V5

#### 4.9 Ověření funkčnosti vstřikovací formy

Po finálním dokončení výroby vstřikovací formy je samozřejmostí provedení zkoušky funkčnosti. První zkouška se z pravidla provádí na předsériovém lise přímo u výrobce formy. Při zkoušce se na lise nastavují vstřikovací parametry dle Moldflow analýzy, které však nemusejí být odpovídající realitě. Ve většině případů se tyto parametry upravují přímo za chodu. Před samotným vstřikováním dle nastavených parametrů se provádí nejprve postupný nástřik dílů bez dotlaku, aby se ověřilo rovnoměrné plnění dílů. V případě této vstřikovací formy je plnění obou dílů rovnoměrné. Po tomto ověření se zahájí vstřikování s dotlakem, aby se dosáhlo výroby dílů požadovaného tvaru a rozměrů. Na obrázku 4.17 je zobrazen díl po první zkoušce vstřikovací formy.



*Obr. 4.17 Náhled na vyrobený díl po první zkoušce vstřikovací formy*

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření vhodného návrhu a konstrukčního řešení vstřikovací formy pro zadaný výrobek, který je součástí předního světlometu užitkového automobilu. Teoretická část bakalářské práce obsahuje popis základního rozdělení polymerních materiálů, teorii vstřikování, popis jednotlivých částí a konstrukci forem pro polymerní materiály.

V praktické části byla na základě zadaného výrobku navržena a zkonstruována vstřikovací forma. Pro samotný návrh vstřikovací formy byl použit CAD/CAM software a to konkrétně software CATIA V5. Návrh obsahoval jak samotné tvary formy, tak veškeré náležitosti jako jsou temperační a vyhazovací systém, dále pak návrh vtokového systému. Poté byl na základě parametrů formy zvolen vhodný vstřikovací lis pro zajištění sériové výroby daného výrobku. Pro návrh, kontrolu a optimalizaci vstřikovacích parametrů byly provedeny simulace pomocí softwaru Autodesk Moldflow. Další část byla věnována jednotlivým technologiím, kterými byly formy opracovávány. Největší zastoupení při výrobě tvarových částí vstřikovacích forem má třískové obrábění a to především frézování a vrtání, dále elektroerozivní (elektrojiskrové) obrábění při dokončovacích operacích. V současné době se při třískovém obrábění využívá obrábění bez procesních kapalin a obrábění při vysokých rychlostech (HSC). V dalších kapitolách byly uvedeny a popsány obráběcí centra a stroje včetně uvedených příkladů obráběcích nástrojů pro hrubovací i dokončovací operace, pomocí kterých byla tato forma vyrobena.

Po dokončení výroby byla tato forma upevněna do zvoleného vstřikovacího lisu a provedena zkouška funkčnosti. Tato zkouška proběhla s velice pozitivními výsledky. Vyrobené díly měly požadované rozměry. Nevyhovující byl dekorativní vzhled dílů a také vyskytující se zástřiky. Z těchto důvodů bylo nutné provést optimalizační smyčku vstřikovací formy v podobě přeleštění nevyhovujících povrchů a slícování vložek.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK, Ladislav. *Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů*. Díl 1. 2. upr. vyd. Brno : Uniplast, 1999. 133s.
- [2] Dostupné online z [www : \[www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm\]](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [3] KANDUS, Bohumil. *Přednášky z Technologie zpracování plastů*. FSI VUT v Brně. 2007
- [4] LENFENDL, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, ISBN 978-80-88058-74-8, [cit. 10.2.2017] Dostupné online z [www: https://publi.cz/books/184/04.html](https://publi.cz/books/184/04.html)
- [5] BOBČÍK a kolektiv, *Formy pro zpracování plastů*, I. Díl – Vstřikování termoplastů, Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999. 134 s.
- [6] GASTROW, H., *Der Spritzgieß-Werkzeugbau in 130 Beispielen*, Hansen, 1998
- [7] LENFENDL, Petr. *Technologie vstřikování* [online]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, ISBN 978-80-88058-74-8, [cit. 10.2.2017] Dostupné online z [www: https://publi.cz/books/184/03.html](https://publi.cz/books/184/03.html)
- [8] KRAUSS MAFFEI Group. *Vstřikovací lis Krauss Maffei* [online]. © 2017 Krauss Maffei Group, [cit. 17.12.2016]. Dostupné z: [http://www.kraussmaffei.com/en/trade-press-releases/d/KraussMaffei\\_Plastindia\\_2012.html](http://www.kraussmaffei.com/en/trade-press-releases/d/KraussMaffei_Plastindia_2012.html)
- [9] LENFELD, Petr. *Technologie II, Zpracování plastů* [online]. [cit. 10.12.2016]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm)
- [10] Kubousek technologies and instruments, *Uzavírací jednotka* [online]. [cit. 10.12.2016]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/cz/divize-kraussmaffei/vstrikovaci-stroje/rada-ex/uzaviraci-jednotka.html>
- [11] Plastik Portal. *Výroba vstřikovacích forem*. [online]. © 2009 – 2016 PlasticPortal.eu, [cit. 20.11.2016]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.sk/sk/podla-cinnosti/ci/77/sub-ci/82/kovorobsro/f/470>
- [12] Injection Mold Design Tutorial. *Technologie and Engineering*, [online]. © 2006 Injection Mold Design Tutorial, [cit. 20.11.2016]. Dostupné z: <http://mould-technology.blogspot.com/>

- [13] Plastik Portal. *Šroubovaná tryska 09E*. [online]. © 2015 Synventive Molding Solutions, [cit. 20.11.2016]. Dostupné z: <http://www.plasticportal.cz/cs/firma-synventive-predstavuje-novu-csrukovanu-trycsu-09e-pre-pouzitie-v-unifikovanych-systemoch-horucich-vtokov-plugn-play%C2%AE/c/3000>
- [14] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, ISBN 978-80-88058-65-6, [cit. 10.2.2017] Dostupné z www: <https://publi.cz/books/179/11.html>
- [15] CATIA V5. *Základy navrhování*. [online]. [cit. 23.2.2017]. Dostupné z: <http://www.sps-prosek.cz/soubory/S/CAD/navodCatia.pdf>
- [16] KRAUSS MAFFEI Group. *Vstřikovací lis Krauss Maffei CX 420* [online]. © 2017 Krauss Maffei Group, [cit. 15.1.2017]. Dostupné z: [http://www.kraussmaffei.com/en/trade-press-releases/d/KraussMaffei\\_lightweight\\_construction.html](http://www.kraussmaffei.com/en/trade-press-releases/d/KraussMaffei_lightweight_construction.html)
- [17] AB SANDVIK COROMANT. *Technická příručka obrábění*. - SANDVIK CZ s.r.o. Dánsko: Stibo Graphic. Říjen 2005. C-2900:3-CZE/01
- [18] Průmysl.cz. *Frézování do rohu Seco turbo 10*. [online]. © 2014, Vydavatelství Nová média, s. r. o. [cit. 15.1.2017]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/seco-rozsiruje-produktovou-radu-frez-pro-frezovani-do-rohu-turbo-10/>
- [21] Isotek. *Nová vřetena GMN*. [online]. [cit. 23.1.2017]. Dostupné z: <http://www.isotek-czech.cz/nova-vretena/>
- [22] MM průmyslové spektrum. *Frézovací strategie při výrobě forem a zápuštěk*, MMspektrum.com [online]. © 2017 [cit. 23.1.2017]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-strategie-pri-vyrobe-forem-a-zapustek.html>
- [23] Seo a webdesign AG TOP TIP. *Tendo E compact* [online]. © 2017 [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/novinka-121/tendo-e-compact.html>
- [24] Seo a webdesign AG TOP TIP. *Tendo E compact* [online]. © 2017 [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/novinka-121/tendo-e-compact.html>
- [25] Wikipedia. *Elektrojiskrové obrábění* [online]. © 2015 [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrojiskrov%C3%A9\\_obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrojiskrov%C3%A9_obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD)
- [26] Mlgeardesigns. *Elektroerozivní hloubení* [online]. © 2015 [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/elektroerozivni-hloubeni>

- [27] Mlgeardesigns. *Elektroerozivní řezání* [online]. © 2015 [cit. 15.2.2017]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1503/elektroerozivni-rezani>
- [28] TRIMILL machine tools. *VC 1810* [online]. © 2015 [cit. 15.3.2017]. Dostupné z: <http://www.trimill.cz/produkty/vertikalni-obrabeci-centra/3osa/vc-1810>
- [29] SAMAG Group, *TFZ 2-1000 obráběcí centrum* [online]. © 2015 [cit. 14.4.2017] Dostupné z: <http://www.samag.de/en/samag-group/machine-tools/tfz/>
- [30] SAMAG Group, *TFZ 2-1000 obráběcí centrum* [online]. © 2015 [cit. 14.4.2017]. Dostupné z: [http://www.samag.de/wpcontent/uploads/2015/12/samag\\_datenblatt\\_TFZ\\_de.pdf](http://www.samag.de/wpcontent/uploads/2015/12/samag_datenblatt_TFZ_de.pdf)
- [31] Penta Trading. *EDM 314* [online]. © 2016 penta Trading, spol. s.r.o. [cit. 14.4.2017]. Dostupné z: <http://www.penta-edm.cz/text-edm-314/>
- [32] AC progres VP. *Agie charmilles* [online]. © Agie Charmilles 2008 [cit. 14.4.2017]. Dostupné z: [http://www.gfms.com/content/dam/gfac/PDF-Documents/Brochure-Wire-Cut-EDM/AC-Progress-VP/ACProgress\\_vp\\_en.pdf](http://www.gfms.com/content/dam/gfac/PDF-Documents/Brochure-Wire-Cut-EDM/AC-Progress-VP/ACProgress_vp_en.pdf)
- [33] Pokolm Frästechnik GmbH & Co. KG. *Katalog a technická příručka 2010* [online]. © 2009/2010 [cit. 2.5.2017]. Dostupné z: [https://www.pokolm.de/pbpp/katalog/P-V\\_Katalog\\_2010\\_cs.pdf](https://www.pokolm.de/pbpp/katalog/P-V_Katalog_2010_cs.pdf)
- [34] Kubousek technologies and instruments, *Temperační přístroj Regloplas* [online]. [cit. 2.5.2017]. Dostupné z: <http://www.kubousek.cz/cz/divize-periferie/regloplas/temperacni-pristroje/olejove-temperacni-pristroje-do-350-c/300l.html>
- [35] LENFELD, Petr. Technologie II, *Zpracování plastů* [online]. [cit. 10.2.2017]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04-vstrikovani%20plastu/68-usporadani.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/68-usporadani.jpg)
- [36] BOBEK, Jiří, *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016, ISBN 978-80-88058-65-6, [cit. 10.2.2017]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/07.html>
- [37] Plastikařská technologie, *Vstřikování* [online]. [cit. 14.2.2017]. Dostupné Z: [http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK EwiPifH3sXTAhUMFCwKHQHWA5oQFggoMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.utb.cz%2Ffile%2F36208\\_1\\_1%2F&usg=AFQjCNFMXfulYQNrSTfm3wD\\_MPI32T8 Ehw&sig2=ntkXVvr7F3fvjKLk4Rqbqw](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUK EwiPifH3sXTAhUMFCwKHQHWA5oQFggoMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.utb.cz%2Ffile%2F36208_1_1%2F&usg=AFQjCNFMXfulYQNrSTfm3wD_MPI32T8 Ehw&sig2=ntkXVvr7F3fvjKLk4Rqbqw)
- [38] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3. 2. vyd.* Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [39] Šlechta s.r.o. *Zrcadlové leštění* [online]. [cit. 3.2.2017]. Dostupné z: <http://www.slechtasro.cz/sluzby/zrcadlove-lesteni/>

- [40] Euro inox, *Elektrolytické leštění korozivzdorných ocelí* [online]. © Euro inox 2009, ISBN 978-2-87997-319-7, [cit. 3.2.2017]. Dostupné z: [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/Electropolishing\\_CZ.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Electropolishing_CZ.pdf)
- [41] Galvanovna s.r.o. *Elektrolytické (elektrochemické) leštění* [online]. © 2016 Businesso [cit. 24.3.2017]. Dostupné z: <http://www.galvanovna.eu/elektrolyticke-elektrochemicke-lesteni/>
- [42] Poco graphite, An Entegris Company. *EDM-160 graphite material*, [www.poco.com](http://www.poco.com) [online]. © 2012 Poco Graphite, Inc., EDM-97336-0612, [cit. 23.1.2017]. Dostupné z: <http://www.grafco.com.pl/wp-content/uploads/2012/07/EDM-160-EuroWeb.pdf>
- [43] Poco graphite, An Entegris Company. *Průvodce správné volby*, [www.poco.com](http://www.poco.com) [online]. © 2013 Poco Graphite, Inc., EDM-104612-1113-CZ, [cit. 23.1.2017]. Dostupné z: <http://edmtchman.com/library/EDM-104612-1113-CZ-A4.pdf>
- [44] MM průmyslové spektrum. *Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění*, [MMSpektrum.com](http://mmspektrum.com) [online]. © 2017 [cit. 23.1.2017]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dulezite-aspekty-vysokorychlostniho-obrabeni.html>

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

OBR. 2.1 ČASOVÝ PRŮBĚH VSTŘIKOVACÍHO CYKLU .....	13
OBR. 2.2 PRINCIP PROCESU PLNĚNÍ VOLNÝM TOKEM (VLEVO) A LAMINÁRNÍM TOKEM (VPRAVO) .....	15
OBR. 2.3 VSTŘIKOVACÍ STROJ KRAUSS MAFFEI ŘADY CX .....	16
OBR. 2.4 ŠNEKOVÁ VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA .....	17
OBR. 2.5 SCHÉMA HYDRAULICKÉ UZAVÍRACÍ JEDNOTKY .....	18
OBR. 2.6 PŘÍKLAD OSMINÁSOBNÉ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	20
OBR. 2.7 PŘÍKLAD TEMPERACE ČÁSTI VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	21
OBR. 2.8 PŘÍKLAD ROZLOŽENÍ ROZVÁDĚCÍCH KANÁLKŮ VÍCENÁSOBNÉ FORMY .....	22
OBR. 2.9 PŘÍKLAD VYHŘÍVANÉ TRYSKY .....	22
OBR. 2.10 PŘÍKLAD VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	23
OBR. 2.11 PŘÍKLAD ODVZDUŠNĚNÍ DUTINY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	24
OBR. 3.1 MODEL VÝSTŘIKU V PROGRAMU CATIA .....	26
OBR. 3.2 NÁHLED NA PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ SOFTWARE CATIA V5 .....	27
OBR. 3.3 MOLD MASTERS NÁHLED A ŘEZ HORKÝM VTOKOVÝM SYSTÉMEM .....	28
OBR. 3.4 SCHÉMA VYHAZOVACÍHO SYSTÉMU FORMY .....	29
OBR. 3.5 SCHÉMA TEMPERAČNÍHO OKRUHU PEVNÉ A POHYBLIVÉ STRANY FORMY .....	30
OBR. 3.6 VODNÍ TEMPERAČNÍ PŘÍSTROJ REGLOPLAS 150 .....	30
OBR. 3.7 POHLED NA SLOŽENOU VSTŘIKOVACÍ FORMU .....	31
OBRÁZEK 3.8 POHLED NA ROZLOŽENOU VSTŘIKOVACÍ FORMU .....	32
OBR. 3.9 VSTŘIKOVACÍ STROJ KRAUSS MAFFEI C 420 SP 1900 .....	33
OBR. 3.10 ZADANÉ HODNOTY PRO VÝPOČET SIMULACE MOLDFLOW .....	34
OBR. 3.11 SIMULACE ČASU PLNĚNÍ DUTINY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	35
OBR. 3.12 SIMULACE TEPLoty NA ČELE TAVENINY .....	35
OBR. 3.13 SIMULACE PŘEPNUTÍ TLAKU NA DOTLAK .....	36
OBR. 4.1 VÝROBA VLOŽEK VSTŘIKOVACÍ FORMY TŘÍSKOVÝM OBRÁBĚNÍM .....	38
OBR. 4.2 VYSOKOOTÁČKOVÁ VŘETENA PRO AUTOMATICKOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ S INTEGROVANÝM ASYNCHRONNÍM MOTOREM .....	39
OBR. 4.3 PŘÍKLAD HRUBOVACÍ OPERACE .....	40
OBR. 4.4 PŘÍKLAD DOKONČOVACÍ OPERACE .....	41
OBR. 4.5 PRINCIP ELEKTROJISKROVÉHO HLOUBENÍ .....	42
OBR. 4.6 ZOBRAZENÍ UMÍSTĚNÍ DRŽÁKŮ PRO ELEKTRODY .....	42
OBR. 4.7 PRINCIP ELEKTROJISKROVÉHO DRÁTOVÁNÍ (ŘEZÁNÍ) .....	45
OBR. 4.8 DETAIL RUČNÍHO LEŠTĚNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	46
OBR. 4.9 PŘÍKLAD ELEKTROCHEMICKY VYLEŠTĚNÉHO VÝROBKU .....	48
OBRÁZEK 4.10 OBRÁBĚCÍ CENTRUM TRIMILL VC 1810 .....	49
OBRÁZEK 4.11 OBRÁBĚCÍ CENTRUM SAMAG TFZ 2 - 1000 .....	50
OBRÁZEK 4.12 OBRÁBĚCÍ CENTRUM EXERON EDM 314 .....	51
OBRÁZEK 4.13 DRÁTOVÁ ŘEZAČKA AGIE PROGRESS VP4 .....	52
OBRÁZEK 4.14 PŘÍKLAD HRUBOVACÍCH NÁSTROJŮ: A) FRÉZA POKOLM S VNĚJŠÍM ZÁVITEM A KRUHOVÝMI VBD, B) STOPKOVÁ MONOLITNÍ FRÉZA POKOLM .....	53
OBRÁZEK 4.15 PŘÍKLAD DOKONČOVACÍCH NÁSTROJŮ: A) FRÉZA POKOLM S VNĚJŠÍM ZÁVITEM, B) STOPKOVÁ MONOLITNÍ KULOVÁ FRÉZA POKOLM .....	53
OBR. 4.16 SIMULACE PROCESU OBRÁBĚNÍ V PROGRAMU CATIA V5 .....	54
OBR. 4.17 NÁHLED NA VYROBENÝ DÍL PO PRVNÍ ZKOUŠCE VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	55

**SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

TAB. 2.1 OCELI PRO KONSTRUKCI VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	25
TAB. 3. 1 VLASTNOSTI MATERIÁLU PC - HT APEC 1695 .....	27
TAB. 3.2 PARAMETRY TEMPERAČNÍHO PŘÍSTROJE REGLOPLAS .....	30
TAB. 3.3 PARAMETRY VSTŘIKOVACÍ FORMY .....	31
TAB. 3.4 PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ .....	32
TABULKA 3.5 PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO STROJE .....	33
TAB. 4. 1 PARAMETRY GRAFITOVÉ ELEKTRODY EDM 160 .....	43
TAB. 4. 2 PARAMETRY GRAFITOVÉ ELEKTRODY EDM 200 .....	44
TAB. 4. 3 PARAMETRY GRAFITOVÉ ELEKTRODY EDM - 1 .....	44
TAB. 4.4 PARAMETRY STROJE TRIMILL VC 1810 .....	48
TAB.4.5 PARAMETRY STROJE SAMAG TFZ 2 - 1000 .....	49
TAB. 4.6 PARAMETRY STROJE EXERON EDM 314 .....	50
TAB. 4. 7 PARAMETRY STROJE AGIE PROGRESS VP4 .....	51
TAB. 4. 8 FRÉZA POKOLM S VNĚJŠÍM ZÁVITEM A KRUHOVÝMI VBD .....	52
TAB. 4.9 STOPKOVÁ TVRDOKOVOVÁ MONOLITNÍ FRÉZA POKOLM .....	52
TAB. 4. 10 FRÉZA POKOLM S VNĚJŠÍM ZÁVITEM .....	53
TAB. 4. 11 MONOLITNÍ STOPKOVÁ KULOVÁ FRÉZA POKOLM .....	53

## SEZNAM PŘÍLOH

## Příloha A: Seřizovací karta pro vstřikování dílu Reflektor

Seřizovací karta									
Položka 22103090 REFLEKTOR BL - LH (POKOVENÝ) 209.260-11						Spol.nástroj 22104090			
Operace 10 LISOVÁNÍ									
Stroj	141	/189	Lis P66 Engel ES 2050/400 HL		Číslo lisu:	66	Prům.kom.:	60	Verze: 1
Otáčky šneku		35			Chod lisu	A	Násobnost	1	
Tryska		krátká D4mm			Dávka/dekomp.	85/4			
Rychl./dráha vstřiku	35-89/35-75/40-62/45-57/45-0				Bod přepnutí	17			
					Polštář:	3,60 +/- 0,50			
Materiál		28300045 PC-HT WIE APEC 1695 SCHWARZ 901107 065.269-02M							
Teploty:		8.pásmo		Časy:	plnění	1,88 s +/- 0,50		s	
		7.pásmo			dotlak	7,00 s +/- 0,00		s	
		6.pásmo			šnekování	9,50 s +/- 2,00		s	
		5.pásmo			chlazení	21,00 s +/- 2,00		s	
		4.pásmo		290 °C +/- 10 °C	s.cyklus	47,60 s +/- 2,00		s	
		3.pásmo		300 °C +/- 10 °C					
		2.pásmo		305 °C +/- 10 °C					
		1.pásmo		310 °C +/- 10 °C					
		tryska		305 °C +/- 10 °C					
HV1:		290/295///// °C +/-10		HV2:		HV3:			
HV4:				HV5:		HV6:			
pev. č.formy		120°C stauble 75°C tryska		pohyb.č.formy		110°C stauble			
Tlak uzavírací		2000 kN		Ochrana formy-dráha		180,00	1,00	mm	
vstřikovací		178/164,7 bar		tlak		18,00	26,00	%	
dotlak		viz poznámky bar		Vyhazovač - tlak - vpřed/vzad		1,00	5,00	%	
zpětný odpor		4x12 bar		zdvih		57,00	mm		
Program vstřikovací jednotky		trvalý přísun							
Označení manipulátoru		manip.: 22103							
Dotlak: 72,1-0/72,1-0,88/60-3,5/48-5,25/36-5,25/24-5,25/24-7									

## Příloha B: Technologický postup nástrojárny

## Technologický postup nástrojárny

Číslo zakázky:	172226	Číslo položky:	40278V100	Nákladové středisko:	320
Množství:	1,00	Název položky:	tv LH+RH	Datum vystavení:	

Číslo operace	Název/Popis operace	Pracovní středisko	Plánovaný čas
10	ODPIS	32OSV1	0,00

Jméno zaměstnance: \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_ Odpracované hodiny: \_\_\_\_\_

Stav přerušené operace: \_\_\_\_\_ Stav při předávání směny: \_\_\_\_\_

0172226001020

20	CNC1	9008239	4,00
----	------	---------	------

frézovat sílu s přídkem 1 mm/st;  
zhotovit upínání FCS;

Jméno zaměstnance: \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_ Odpracované hodiny: \_\_\_\_\_

Stav přerušené operace: \_\_\_\_\_ Stav při předávání směny: \_\_\_\_\_

0172226002020

30	CAD.CAM1	32CAM5	15,00
----	----------	--------	-------

Jméno zaměstnance: \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_ Odpracované hodiny: \_\_\_\_\_

Stav přerušené operace: \_\_\_\_\_ Stav při předávání směny: \_\_\_\_\_

0172226003020

40	CNC2	9012058	40,00
----	------	---------	-------

frézovat obvod + brus. 1mm/st;  
z boku vrtat komplet vodu + frézovat netoler. drážky +tolerované drážky a kapsy hrubovat + zhotovit závit + upínání FCS;  
na dně frézovat vybrání + vrtat komplet vodu a otvory pro šrouby + zhotovit závit;  
pr. 12,5 pro jádro 2 vrtat pr. 13 + hloubka o 10mm hlubší;  
vše provést dle CAM;  
b+p=13; se=27h;

Jméno zaměstnance: \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_ Odpracované hodiny: \_\_\_\_\_

Stav přerušené operace: \_\_\_\_\_ Stav při předávání směny: \_\_\_\_\_



## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a věnovaný čas při vypracovávání práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petrovi Mlejnkovi, za poskytnuté informace a vědomosti v celém průběhu mého studia na detašovaném pracovišti v Šumperku, VŠB - TU Ostrava.